

SONOGRAPHISCHE
FUNKTIONSUNTERSUCHUNGEN
BEI KAPSELBANDLÄSIONEN AM KNIE-
UND OBEREN SPRUNGGELENK.

DARGESTELLT AM BEISPIEL
DER ANTEROMEDIALEN
KNIEGELENKSINSTABILITÄT
UND DER FIBULAREN BANDRUPTUR
DES SPRUNGGELENKES

Thomas Schricker

Disbui. München

1988





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554827_0006

Aus der Orthopädischen Klinik der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. H. J. Refior

SONOGRAPHISCHE FUNKTIONSUNTERSUCHUNGEN BEI
KAPSELBANDLÄSIONEN AM KNIE- UND OBEREN SPRUNGGELENK.
DARGESTELLT AM BEISPIEL DER ANTEROMEDIALEN KNIE-
GELENKSINSTABILITÄT UND DER FIBULAREN BANDRUPTUR
DES SPRUNGGELENKES.

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Thomas Schrickner
aus
München
1988

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. C. J. Wirth
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. H. J. Refior
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. N. M. Hien
Dekan:	Prof. Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	5. Mai 1988

Meiner Mutter

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Problemstellung.....	1
2.	Grundlagen der Ultraschalldiagnostik.....	4
2.1.	Physikalische Grundlagen.....	4
2.1.1.	Schallausbreitung.....	4
2.1.2.	Reflexion.....	5
2.1.3.	Streuung.....	7
2.1.4.	Brechung.....	7
2.1.5.	Beugung.....	7
2.1.6.	Absorption.....	9
2.2.	Technische Grundlagen.....	9
2.2.1.	Das Impuls-Echo-Prinzip.....	9
2.2.2.	Erzeugung von Ultraschallwellen.....	9
2.3.	Die verschiedenen Ultraschall-Bildverfahren..	10
2.3.1.	A-Mode-Darstellung.....	10
2.3.2.	B-Mode-Darstellung.....	11
2.4.	Biologische Wirkungen von Ultraschallwellen..	13
3.	Sonographische Funktionsuntersuchungen am Kniegelenk.....	14
3.1.	Anatomie.....	14
3.1.1.	Knöcherne Führung.....	14
3.1.2.	Ligamentäre und muskuläre Führung.....	15
3.2.	Pathologische Anatomie der Kapselbandverletzungen.....	18
3.2.1.	Instabilitätsformen und Verletzungshäufigkeit.....	18
3.2.2.	Die anteromediale Rotationsinstabilität.....	19

3.3.	Klinische Diagnostik der Kapselbandverletzungen.....	21
3.3.1.	Anamnese und Inspektion.....	21
3.3.2.	Palpation und Funktionsprüfung.....	22
3.3.3.	Stabilitätsprüfung.....	22
3.4.	Methode und Patientengut.....	24
3.4.1.	Untersuchungstechnik.....	24
3.4.2.	Standardebenen.....	27
3.4.3.	Verwendete Geräte.....	30
3.4.4.	Untersuchungen am Knochenpräparat im Wasserbad.....	30
3.4.5.	Patientengut.....	31
3.5.	Ergebnisse.....	31
3.5.1.	Ergebnisse der Untersuchungen am Knochenmodell.....	31
3.5.2.	Ergebnisse der klinischen Untersuchungen...	35
4.	Sonographische Funktionsuntersuchungen am oberen Sprunggelenk.....	46
4.1.	Anatomie.....	46
4.1.1.	Knöcherne Führung.....	46
4.1.2.	Ligamentäre Führung.....	48
4.1.3.	Muskuläre Führung.....	50
4.2.	Das Supinationstrauma des oberen Sprunggelenkes.....	52
4.2.1.	Unfallmechanismus und pathologische Anatomie.....	52
4.2.2.	Klinischer Befund.....	53
4.3.	Methode und Patientengut.....	54
4.3.1.	Standardebenen und Untersuchungstechnik....	54
4.3.2.	Sonographische Untersuchungen an Leichensprunggelenken.....	56

4.3.3.	Sonographische Untersuchung an Patienten mit fibularer Bandruptur und an Gesunden....	60
4.4.	Ergebnisse.....	61
4.4.1.	Ergebnisse der leichenexperimentellen Un- tersuchung.....	61
4.4.2.	Ergebnisse der klinischen Untersuchung.....	68
5.	Diskussion.....	75
5.1.	Diagnose und Dokumentation von Kniegelenks- instabilitäten.....	75
5.1.1.	Die gehaltene Röntgenaufnahme des Kniege- lenkes: Indikation, Technik und Probleme der Durchführung.....	75
5.1.2.	Instrumentelle Messung von Knieinstabili- täten: Das Arthometer KT-1000.....	80
5.1.3.	Sonographische Funktionsuntersuchungen bei Kniegelenksinstabilitäten.....	81
5.2.	Diagnose und Dokumentation fibularer Band- rupturen.....	87
5.2.1.	Gehaltene Röntgenaufnahmen des oberen Sprung- gelenkes: Indikation, Technik und Probleme der Untersuchungsmethode.....	87
5.2.2.	Sonographische Funktionsuntersuchung des fibularen Bandapparates.....	89
5.3.	Allgemeine Vorteile und Voraussetzungen der sonographischen Funktionsdiagnostik.....	94
5.3.1.	Vorteile der Ultraschalluntersuchung gegen- über gehaltenen Röntgenaufnahmen.....	94
5.3.2.	Voraussetzungen für die Ultraschalldia- gnostik.....	94
6.	Zusammenfassung.....	98
7.	Literaturverzeichnis.....	99

1. Einleitung und Problemstellung

Die Sonographie hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einem weitverbreiteten diagnostischen Verfahren entwickelt. In Geburtshilfe, Gynäkologie und Innerer Medizin nimmt sie bei der Beurteilung zahlreicher Fragestellungen eine zentrale Rolle ein. Als nicht invasive, nicht strahlenbelastende Methode bietet die Ultraschalluntersuchung eine Ergänzung, zum Teil auch eine Alternative zu den herkömmlichen Röntgenaufnahmen.

Erste Ansätze, die Sonographie bei der Diagnostik orthopädischer Krankheitsbilder einzusetzen, finden sich schon relativ früh. McDonald und Leopold beschrieben 1972 ihren Nutzen bei der Diagnose von Baker-Zysten (83).

Wegen der engen räumlichen Verbindung von Knochen und Weichteilmantel an den Extremitäten und der Totalreflexion von Ultraschallwellen am Knochen konnte sich die Sonographie zunächst nicht als orthopädische Routinediagnostik etablieren. Die Unmöglichkeit, eine dem Röntgenbild ähnliche Abbildung des Skelettes zu erreichen trug dazu bei. In den folgenden Jahren wurde über eine Reihe neuer Einsatzmöglichkeiten berichtet, ohne daß diese aber eine größere klinische Bedeutung erlangten.

Ergebnisse über die Erfassung von Tumoren an Knochen und Weichteilen wurden 1977 von Kratochwil und Zweymüller veröffentlicht (72).

Im Jahr 1978 berichtete Cooperberg über die sonographische Darstellung suprapatellarer Ergüsse und Synovialisverdickungen (13). Kramps und Lenschow beschäftigten sich zur selben Zeit mit der Messung von Muskelschichtdicken, der Weichteildifferenzierung und der Kno-



chenkonturdarstellungen an Knie- und Hüftgelenk (71).

Porter und Mitarbeiter wiesen auf die Möglichkeit der Bestimmung von Spinalkanalweiten hin (99).

Dragonat und Claussen unternahmen 1980 den Versuch einer sonographischen Meniskusdarstellung (23). Seltzer untersuchte zur selben Zeit Hüft- und Schultergelenksergüsse und prägte den Begriff der Arthrosonographie (117).

1981 zeigte Bernardino die Differenzierungsmöglichkeiten zwischen Tumoren und anderen raumfordernden Prozessen an den Extremitäten auf (7).

Den eigentlichen Durchbruch als orthopädische Routinediagnostik verdankt die Sonographie den Arbeiten von Graf, der die Gesetzmäßigkeiten der normalen und pathologischen Hüften systematisch untersuchte und beschrieb (40). Die von ihm entwickelte Untersuchung ermöglicht die Erkennung kindlicher Hüftreifungsstörungen bereits in den ersten Lebenswochen. Dadurch kann in vielen Fällen auf die strahlenbelastende Röntgenuntersuchung verzichtet werden.

Teils angeregt durch die Ergebnisse der Untersuchungen von Graf, teils bedingt durch technische Verbesserungen der Ultraschallgeräte folgten in den letzten Jahren zahlreiche Veröffentlichungen über die Einsatzmöglichkeiten der Ultraschalldiagnostik am Bewegungsapparat. Sie beschäftigten sich mit der Bestimmung der Knorpeldicke, der Differenzierung von Sehnen- und Muskelgewebe und deren Veränderungen durch Degeneration und traumatische Einwirkungen (2, 28, 29, 30, 69).

Auch zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist das Interesse an neuen Einsatzmöglichkeiten der Sonographie im orthopädischen Fachbereich ungebrochen groß. Das beweist die

Vielzahl von Veröffentlichungen und Vorträgen zu diesem Thema. Besondere Beachtung finden derzeit die sonographische Untersuchung der Schulter und die Darstellung der Menisken (84, 121).

Die vorliegende Arbeit prüft, ob mittels sonographischer Funktionsuntersuchungen Darstellung und Dokumentation von Gelenkinstabilitäten möglich und sinnvoll sind. Zu diesem Zweck wurden sonographische Schnittebenen für die Stabilitätsprüfung des vorderen Kreuzbandes und des Innenbandes, sowie der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare entwickelt (52). Ihre Aussagekraft wird in Knochenkonturstudien und Leichenexperimenten untersucht. Die Zuverlässigkeit der Methode wird anschließend an Patienten der Orthopädischen Klinik Großhadern überprüft. Dadurch sollen Kriterien für die Durchführung der Untersuchung festgelegt und mögliche Fehlerquellen aufgezeigt werden.

2. Grundlagen der Ultraschalldiagnostik

Die Ultraschalldiagnostik beruht auf der Messung der physikalischen Wechselwirkung zwischen Schallwellen und biologischer Substanz. Zum besseren Verständnis der Methode der Ultraschalldiagnostik werden in dieser Arbeit die grundsätzlichen physikalischen Vorgänge, die Arbeitsweise der Ultraschallgeräte und mögliche biologische Wirkungen beschrieben.

2.1. Physikalische Grundlagen

2.1.1. Schallausbreitung

Schallwellen sind mechanische Wellen. Sie werden charakterisiert durch ihre Frequenz, Wellenlänge und Geschwindigkeit. Sie breiten sich in festen, flüssigen oder gasförmigen Körpern als Longitudinalwellen aus. Die Moleküle der Körper schwingen dabei sinusförmig. Die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit ist die Frequenz. Sie wird in Hertz (Hz) ausgedrückt. Das menschliche Gehör spricht auf Frequenzen von 16 bis 20000 Hz an. Frequenzen über 20000 Hz bezeichnet man als Ultraschall. Der Frequenzbereich für medizinische Ultraschalldiagnostik liegt zwischen 1 und 10 Megahertz (MHz). Die Wellenlänge verhält sich reziprok zur Frequenz.

Die Schallgeschwindigkeit hängt vom Ausbreitungsstoff ab. In Luft beträgt sie etwa 0,3 m/sec. Bei dichterem Material steigt sie an. Innerhalb eines definierten Mediums bleibt sie konstant.

Werden Schallwellen in ein Medium gesandt, so bewegen

sich die Moleküle dieses Mediums. Die bewegten Teilchen stoßen gegen benachbarte Moleküle und werden abgebremst. Die angestoßenen Moleküle übernehmen den Bewegungsimpuls und geben ihn beim nächsten Zusammenstoß weiter. Auf diese Weise breitet sich die Schallwelle in einer Materie aus, ohne daß die einzelnen Moleküle ihren Ort verlassen. In einem homogenen Medium breitet sich eine Schallwelle mit konstanter Geschwindigkeit ungehindert aus. Gelangt sie an die Grenzfläche eines zweiten Mediums mit anderer spezifischer Dichte und Schallgeschwindigkeit, so kann sich ihr Verlauf in verschiedener Weise ändern.

2.1.2. Reflexion

Trifft die Schallwelle senkrecht auf eine akustische Grenzfläche, wird ein Teil des Schalles reflektiert und gelangt als Echo zurück zum Schallempfänger (Abb. 1a). Die Intensität des Echos hängt von den physikalischen Eigenschaften des zweiten Mediums ab. Sie wird durch die Impedanz (akustischer Widerstand) charakterisiert. Diese entspricht dem Produkt aus spezifischer Dichte und Schallgeschwindigkeit.

Akustische Grenzflächen im menschlichen Körper sind Organgrenzen, Strukturen innerhalb von Organen, Bindegewebssepten und Knochen. Die Impedanzunterschiede zwischen den einzelnen Weichteilen sind gering (Tab. I). Entsprechend wird hier nur ein Teil der Schallenergie reflektiert; der Rest kann weiter in den Körper eindringen und von tiefer liegenden Strukturen reflektiert werden (131). An der Grenze zweier Medien mit großen Impedanzunterschieden - beispielsweise zwischen Muskulatur und Knochen - wird der Großteil der Schallenergie

reflektiert. Der transmittierte Energieanteil ist entsprechend gering. Knochen stellen daher eine Barriere für die sonographische Untersuchung darunterliegender Strukturen dar.

Medium	Geschwindigkeit (m/sec)	Dichte (kg/m ³ x 10 ³)	Impedanz (kg/m ² x sec x 10 ⁶)
Wasser	0,997	1496	1,49
Fett	0,928	1476	1,37
Muskel	1,058	1568	1,66
Knochen	1,850	3360	6,20
Luft	0,001	331	41,3 x 10 ⁻⁵

Tab. I Akustische Eigenschaften Biologischer Medien
bei 37 °C, nach (21)

2.1.3. Streuung

Treffen Schallwellen nicht im rechten Winkel auf eine Grenzfläche, so kommt es zur Streuung. Ein Teil der Schallenergie wird in andere Raumrichtungen abgelenkt und geht somit verloren (Abb. 1b). Zur optimalen Abbildung akustischer Grenzflächen müssen Ultraschallwellen daher möglichst senkrecht auf die jeweilige Grenzfläche treffen (21).

2.1.4. Brechung

Schallwellen können beim Übergang zwischen zwei Medien unterschiedlicher Dichte gebrochen werden (Abb. 1a). Nur bei senkrechtem Einfall erfolgt keine Brechung. Die Schallwelle tritt dann ohne Änderung ihrer Ausbreitungsrichtung in die nächste Substanz ein. Reflektierte Schallwellen werden vom Empfänger nur dann wieder aufgenommen, wenn sie rechtwinkelig zur Grenzfläche auftreffen.

2.1.5. Beugung

In einem homogenen Medium pflanzen sich die Schallwellen geradlinig fort. Liegt ein Hindernis im Schallstrahl, zum Beispiel ein Knochen, werden sie aus ihrer ursprünglichen Ausbreitungsrichtung abgelenkt (Abb. 1c). Teilweise werden sie dabei in den sog. Schallschatten hineingebeugt und liefern Echos aus einem eigentlich echofreien Raum.

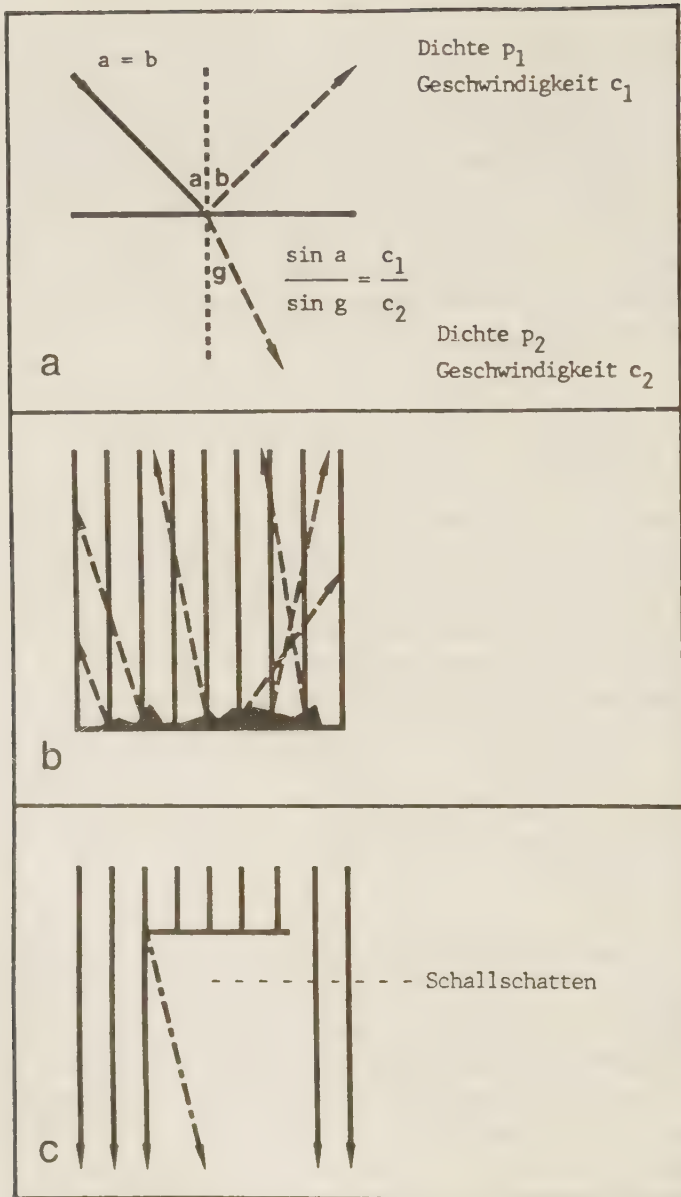


Abb. 1 Verhalten der Ultraschallwellen an Grenzflächen,
(a) Reflexion und Brechung, (b) Streuung, (c) Beugung.

2.1.6. Absorption

Die in ein Gewebe eingestrahlte Schallintensität kommt nicht vollständig aus dem Gewebe zurück. Ein Teil der Energie wird in Wärme umgewandelt und geht verloren. Die zurückkommende Schallenergie nimmt exponentiell mit der Tiefe des Gewebes ab (21).

Wegen der Absorption sind tiefer aus dem Gewebe zurückkommende Echos schwächer als oberflächennahe. Dieser Effekt kann jedoch durch eine elektronische Verstärkungs-
vorrichtung im Ultraschallgerät ausgeglichen werden (131).

2.2. Technische Grundlagen

2.2.1. Das Impuls-Echo-Prinzip

Die in der Routinediagnostik verwendeten Ultraschallgeräte arbeiten nach dem Impuls-Echo-Prinzip. Schallimpulse werden in das Gewebe gesandt. An Grenzflächen im menschlichen Körper werden sie reflektiert. Sie kehren als Echo aus dem Gewebe zurück und können mit einem Empfänger nachgewiesen werden. Durch Messung der Zeitdifferenz zwischen dem Aussenden eines Impulses und dem Empfang des Echos kann die Echotiefe bestimmt werden (21).

2.2.2. Erzeugung von Ultraschallwellen

Kernstück eines jeden Ultraschallgerätes ist der Schallkopf mit seinem piezoelektrischen Kristall. Legt man an einen polar gebauten Kristall eine elektrische Wechsel-

spannung an, so wird dieser aufgrund des umgekehrten piezoelektrischen Effektes zu Schwingungen angeregt. Diese Schwingungen gibt der Kristall an das umgebende Medium ab, beispielsweise an das zu untersuchende Körpergewebe. Umgekehrt bewirken mechanische Schwingungen, wie sie beim Auftreffen von Echos im Kristall entstehen, Ladungsverschiebungen, die als Spannungen abgegriffen werden können (piezoelektrischer Effekt). Auf diese Weise kann der Kristall sowohl als Sender, als auch als Empfänger benutzt werden. Der bekannteste natürliche Kristall ist der Quarz. Die meisten in der Ultraschall-diagnostik verwendeten Schallköpfe werden jedoch aus Bariumnitrat oder Bleizirkonat synthetisch hergestellt (68).

2.3. Die verschiedenen Ultraschall-Bildverfahren

Grundsätzlich arbeiten alle Impuls-Echo-Geräte nach dem gleichen Prinzip. Sie messen die Laufzeit des Schalls von seiner Emission bis zu seiner Rückkehr als Echo, sowie die Intensität dieses Echos. Für die Darstellung der gewonnenen Information bestehen jedoch mehrere Möglichkeiten.

2.3.1. A-Mode-Darstellung

Bei der amplitudenmodulierten oder A-Mode-Darstellung werden die registrierten Echos als amplitudengerechte Auslenkung eines Elektronenstrahles auf einer Oszillographenröhre abgebildet. Für jedes zurückkehrende Echo

entsteht ein positiver Ausschlag. Der Abstand zwischen den Ausschlägen gibt die Entfernung der akustischen Grenzflächen an. Die Amplitudenhöhe entspricht der reflektierten Schallintensität.

Wegen der fehlenden anatomischen Orientierungsmöglichkeit wurde diese Art der Signalverarbeitung nur in der Anfangsphase der Ultraschalldiagnostik eingesetzt.

2.3.2. B-Mode-Darstellung

Beim B-Mode-Verfahren (B steht für brightness) wird die Echointensität nicht durch eine Amplitude, sondern durch die Helligkeit eines Lichtpunktes auf dem Monitor dargestellt. Die möglichen Echointensitäten werden dabei in einzelne Intensitätsbereiche unterteilt und jedem dieser Bereiche eine bestimmte Helligkeit einer Grauwertskala zugeteilt. Zur Wiedergabe der gesamten Echoinformation genügt eine einzige Bildschirmzeile. Die übrigen Zeilen bleiben für die Darstellung weiterer Informationen frei. Durch Ausnutzung aller Bildzeilen entsteht ein Schnittbild, das anatomische Verhältnisse besser erfaßbar darstellt. Für den Aufbau des Bildes bestehen unterschiedliche technische Lösungen. Man unterscheidet zwischen dem langsamen und dem schnellen B-Bild.

Beim langsamen B-Bild (Compound-Verfahren) wird ein einzelnes Schallelement an einem Hebelarm auf einer kreisähnlichen Bahn um den Körper des Patienten bewegt. Die Schnittebene wird dabei mit verschiedenen Einfallswinkeln untersucht. Durch kontinuierliche Speicherung der empfangenen Echos und rechnergesteuerte Beziehung zu den Schallkopfpositionen ergibt sich ein zweidimensio-

nales Querschnittsbild. Sein Aufbau in einer Speicherröhre erfolgt relativ langsam. Das Summationsbild kann keine Bewegungsabläufe wiedergeben.

Beim schnellen B-Bild (Real-Time-Verfahren) entstehen 15 bis 30 Einzelbilder in der Sekunde. Dadurch können Bewegungsabläufe zeitgetreu wiedergegeben werden. Nach Art des Bildaufbaues und Anordnung der Bildzeilen können dabei unterschieden werden:

- | | |
|------------------|---|
| Sektorscanner: | - mechanisch
- elektronisch (phased array) |
| Parallelscanner: | - mechanisch
- elektronisch (linear array) |

Bei den m e c h a n i s c h e n Scannern werden nacheinander drei bis fünf Schallkopfelemente aktiviert, die um eine gemeinsame Achse rotieren. Dabei wird der Echoimpuls bei den Sektorscannern direkt, bei den Linienscannern über einen Spiegel in das Gewebe gesandt.

E l e k t r o n i s c h e Scanner besitzen viele kleine piezoelektrische Kristalle, die unbeweglich nebeneinander angeordnet sind.

Beim elektronischen Sektorscanner werden diese phasenverschoben aktiviert. Die Schallwellen verlassen den Schallkopf in verschiedenen, von der Zeitverzögerung abhängigen Winkeln. Es entsteht ein sektorförmiges Bild, das im Nahbereich nur ein schmales Blickfeld liefert.

Beim Linear-Array-Verfahren werden die auf einer Geraden liegenden Einzelelemente nacheinander aktiviert. Das entstehende Bild liefert in jeder Tiefe ein gleich großes Blickfeld.

2.4. Biologische Wirkungen von Ultraschallwellen

Mögliche unerwünschte Nebenwirkungen des Ultraschalles wurden in den letzten Jahren eingehend untersucht. Theoretisch muß beim Durchtritt von Schallwellen durch den Körper mit mechanischen und thermischen Reaktionen gerechnet werden. Gewebeschäden, Chromosomen- und Genveränderungen sind denkbar durch die Umwandlung von Schallenergie in Wärme (Absorption). Außerdem können mechanische Schwingungen durch Hohlraumbildung (Kavitation) das Gewebe verändern. Alle diese Wirkungen sind frequenz- und intensitätsabhängig.

Mit hohen Ultraschallintensitäten konnten Schädigungen experimentell erzeugt werden. Für den Intensitätsbereich des diagnostischen Ultraschalls ($5 - 50 \text{ mW/cm}^2$) wurden bislang keine unerwünschten Nebenwirkungen festgestellt (6, 39, 107). Schäden durch eine kumulative Wirkung diagnostischen Ultraschalles wurden bisher nicht beobachtet (50). Man kann folglich davon ausgehen, daß die im medizinisch-diagnostischen Bereich verwendeten Schallintensitäten mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit keine nachteiligen Folgen haben (39).

3. Sonographische Funktionsuntersuchungen am Kniegelenk

3.1. Anatomie

3.1.1. Knöcherne Führung

Das Kniegelenk ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers. Hier artikulieren Femur und Tibia. Die Fibula steht mit dem Oberschenkelknochen nicht in gelenkigem Kontakt. Die Gelenkkörper werden von den beiden Femurkondylen und den Kondylen der Tibia gebildet.

Condylus medialis und lateralis des Femur werden auf der Hinterfläche durch die Fossa intercondylaris getrennt. Auf der Vorderfläche verbindet eine überknorpelte Einziehung, Facies patellaris, die Gelenkflächen beider Kondylen. Auf ihr gleitet die Kniescheibe. Die Femurkondylen sind im hinteren Bereich stärker gekrümmt als im Vorderen. Daher gleicht die Seitenansicht der Kondylen einer Spirallinie. Der laterale Femurkondylus ist vorne breiter als hinten, während der Condylus medialis eine gleichmäßige Breite besitzt (35).

Die proximale Fläche der beiden Tibiakondylen besteht aus zwei überknorpelten Gelenkflächen, von denen die mediale in sagittaler Richtung etwas ausgedehnter ist als die laterale. Das knorpelfreie Zwischenstück wird durch die Eminentia intercondylaris gebildet. Sie läuft in zwei Zacken aus, Tubercula intercondylaria mediale und laterale. Die Eminentia intercondylaris verhindert die Seitabweichung im Kniegelenk. Darüberhinaus besteht - infolge der Inkongruenz von Femur- und Tibiagelenkfläche - keine weitere knöcherne Führung.

Das Bewegungsausmaß des Kniegelenkes beträgt für die Streckung $5-10^{\circ}$, für die Beugung $120-150^{\circ}$ (15). Die Extensions- und Flexionsbewegung stellt eine kombinierte Roll-Gleit-Bewegung dar. Während der ersten Phase der Beugung rollen sich die Femurkondylen ab, anschließend erfolgt der Hauptteil der Bewegung als Drehgleiten. Der Übergang vollzieht sich auf der medialen Seite bei $15-20^{\circ}$ Flexion, auf der lateralen Seite bei $25-30^{\circ}$ (35, 136).

In der Endphase der Streckung kommt es zu einer zusätzlichen Schlußrotation. Diese wird verursacht durch die Anspannung des vorderen Kreuzbandes und begünstigt durch die Form des medialen Femurkondylus. Beide Seitenbänder werden dabei straff angespannt, gleichzeitig kommt es zu einer leichten Auseinanderwicklung der beiden Kreuzbänder (35).

Die zweite Ebene der Bewegungsmöglichkeit im Kniegelenk besteht in einer Innen- und Außenrotation. Bei Flexion von 90° beträgt die Außenrotation bis zu 25° , die Innenrotation bis zu 10° (16).

3.1.2. Ligamentäre und muskuläre Führung

Die knöchernen Anteile des Kniegelenkes tragen nur teilweise zu seiner Führung bei. Die aktive und passive Stabilisierung erfolgt vorwiegend durch Kapsel, Bänder und Muskeln. Nach Nicholas (91) können die aktiven und passiven stabilisierenden Elemente des Kniegelenkes in drei, jeweils vierteilige Komplexe unterteilt werden.

Medialer vierteiliger Komplex

Mediales Seitenband
Lig. popliteum obliquum
Pes anserinus
M. semimembranosus

Das mediale Seitenband besteht aus drei Fasergruppen. Die vorderen, langen Fasern ziehen vom Epicondylus lateralis des Femur zum Margo medialis tibiae. Die hinteren oberen, kurzen Fasern strahlen in den Innenmeniskus ein, während die hinteren unteren Fasern von dort zur Tibia gelangen. Das Innenband wird zum Teil vom Pes anserinus bedeckt und von einem Teil der Semimembranosussehne unterkreuzt.

Das Lig. popliteum obliquum, ein Strang aus der Endsehne des M. semimembranosus, zieht zum dorsomedialen Kapseleck und verstärkt dieses.

Die Sehnen der Mm. semitendinosus, sartorius und gracilis setzen als Pes anserinus an der medialen Tibiafläche an. Vom medialen Seitenband ist er durch die Bursa anserina abgetrennt.

Der M. semimembranosus setzt mit seinem Hauptteil am dorsomedialen Tibiakopf, kranial des Pes anserinus, an. Die anderen Teile des Sehnenstranges ziehen zur Faszie des M. popliteus und zum dorsomedialen Kapseleck. Die Muskeln der Pes anserinus-Gruppe und der M. semimembranosus beugen und rotieren den Unterschenkel nach innen.

Lateraler vierteiliger Komplex

Laterales Seitenband
Tractus iliotibialis
Popliteussehne
Bizepssehne

Das laterale Seitenband ist weder mit der Kapsel, noch

mit dem Außenmeniskus verwachsen. Es zieht - in einigem Abstand von der Gelenkkapsel - vom Epicondylus femoris lateralis zum Caput fibulae.

Der Tractus iliotibialis - der Verstärkungsstreifen der Fascia lata - inseriert am distalen Femur, am Septum intermusculare laterale und am lateralen Tibiakondyl. Zusätzlich gibt er Fasern zum lateralen Retinaculum patellae und zum Fibulaköpfchen ab.

Der M. popliteus entspringt vom Epicondylus femoris lateralis und setzt an der Tibiahinterfläche an. Er beugt im Kniegelenk und rotiert den Unterschenkel nach innen.

Die Sehne des M. biceps femoris unterkreuzt das laterale Seitenband und setzt am Caput fibulae an. Im Kniegelenk beugt er und rotiert den Unterschenkel in gebeugter Stellung nach außen.

Zentraler vierteiliger Komplex

Vorderes Kreuzband
Hinteres Kreuzband
Innenmeniskus
Außenmeniskus

Das vordere Kreuzband zieht vom hinteren Drittel der Innenfläche des lateralen Femurkondylus zur Area intercondylaris anterior der Tibia. Seine durchschnittliche Länge beträgt 39 mm (67, 108, 136). Es besteht aus zwei Faserbündeln: der anteromedialen und der posterolateralen Portion. In Streckung verlaufen die Fasern annähernd parallel, in Beugung verwunden (49, 136). Das vordere Kreuzband ist in Überstreckstellung und bei Beugung gespannt, Varusstreß und Innenrotation erhöhen die Spannung (49, 67, 136).

Das hintere Kreuzband entspringt vom vorderen Drittel des medialen Femurkondylus und zieht zur Area intercon-

dylaris posterior tibiae. Auch hier lassen sich zwei Einheiten abgrenzen: ein anterolateraler und ein posteromedialer Anteil. Der anterolaterale Anteil wird mit zunehmender Beugung gespannt, der posteromediale ist bei Beugung und Streckung gespannt (49, 133).

Die Menisci sind verformbare c-förmige Scheiben, aus Bindegewebe mit Kollagenfasern und knorpelähnlichen Zellen. Der Meniscus lateralis bildet einen nahezu geschlossenen Ring. Der Meniscus medialis dagegen ist mehr halbmondförmig. Beide Menisci sind mit ihrem Vorderhorn an der Area intercondylaris anterior, mit ihrem Hinterhorn an der Area intercondylaris posterior fixiert. Die Ansatzfelder des medialen Meniskus fassen dabei die des lateralen Meniskus zwischen sich. Am Vorderrand sind die beiden Menisci durch das Lig. transversum verbunden. Das mediale Kapselband ist mit dem Innenmeniskus verwachsen und schränkt dessen Exkursionsmöglichkeit ein. Neben ihrer Aufgabe als sekundäre Stabilisatoren, haben die Menisken auch eine druckübertragende und energieabsorbierende Wirkung.

3.2. Pathologische Anatomie der Kapselbandverletzungen

3.2.1. Instabilitätsformen und Verletzungshäufigkeit

Verletzungen am Kniegelenk betreffen größtenteils den Kapselbandapparat (124). Abhängig vom Ausmaß der Schädigung kann zwischen Verletzungen ohne und mit Verlust der Gelenkstabilität unterschieden werden (110).

Bei Verletzungen mit Stabilitätsverlust ergeben sich,

abhängig von Verletzungsmechanismus und betroffenen Bandstrukturen, unterschiedliche Instabilitätsformen. Sie lassen sich nach der Richtung der pathologischen Verschiebbarkeit des Tibiakopfes einteilen (54, 65, 91):

A Einfache Instabilitäten

- a vordere Instabilität
- b hintere Instabilität
- c mediale Instabilität
- d laterale Instabilität

B Rotatorische (komplexe) Instabilitäten

- a anteromediale Instabilität
- b anterolaterale Instabilität
- c posteromediale Instabilität
- d posterolaterale Instabilität

C Kombinierte Instabilitäten

- a anteromediale-posteromediale Instabilität
- b anterolaterale-anteromediale Instabilität
- c anterolaterale-posterolaterale Instabilität

Die einzelnen Bandstrukturen sind unterschiedlich häufig verletzt. Das Innenband ist 10-20 mal häufiger betroffen als das Außenband. Bei Verletzung der Kreuzbänder beträgt das Verhältnis von vorderem zu hinterem Kreuzband 5-10 : 1 (62, 94). Bei den Rotationsinstabilitäten überwiegen deutlich die anteromedialen Instabilitäten (88, 136).

3.2.2. Die anteromediale Rotationsinstabilität

Der klassische Verletzungsmechanismus, der zur antero-

medialen Knieinstabilität führt ist das Außenrotations-Flexions-Valgus-Trauma (67). Die Schwere der einwirkenden Kraft bestimmt dabei das Ausmaß der verletzten Strukturen. Die Reihenfolge der nacheinander verletzten Kapselbandanteile hängt ab vom Beugegrad des Kniegelenkes zum Zeitpunkt des Traumas (136).

Am rechtwinkelig gebeugten Knie werden nacheinander dorsomediales Kapseleck, Innenband und vorderes Kreuzband geschädigt (67, 91, 119). Ist das Knie nur leicht gebeugt - wie es bei den meisten Fällen einer Knieverletzung der Fall ist - rupturiert nach der dorsomedialen Kapsel das vordere Kreuzband und danach das Innenband. Die veränderte Reihenfolge erklärt sich aus dem unterschiedlichen Spannungsverhalten von Innenband und vorderem Kreuzband bei verschiedenen Beugestellungen (136).

Das Innenmeniskushinterhorn ist bei der anteromedialen Knieinstabilität häufig mitverletzt. Während einige Autoren annehmen, daß es sich dabei um eine Primärverletzung handelt (55, 67, 120), betonen Andere die Möglichkeit einer sekundären Schädigung bei nicht versorgter Bandverletzung (47, 82).

Die anteromediale Rotationsinstabilität läßt sich in drei Schweregrade unterteilen (136):

Grad I

Verletzt sind dorsomediales Kapseleck und/oder Innenmeniskushinterhorn. Eine Mitbeteiligung des medialen Kapselbandes ist möglich.

Grad II

Betroffen sind dorsomediales Kapseleck und/oder

Innenmeniskushinterhorn, mediales Kapselband und vorderes Kreuzband.

Grad III

Geschädigt sind dorsomediale Kapsel und/oder Innenmeniskushinterhorn, mediales Kapselband, mediales Seitenband und vorderes Kreuzband.

3.3. Klinische Diagnostik der Kapselbandverletzungen

Die klinische Untersuchung eines Patienten mit einer Kapselbandverletzung des Kniegelenkes umfaßt Anamnese, Inspektion, Palpation, Funktionsuntersuchung und Prüfung der Bandstabilität.

3.3.1. Anamnese und Inspektion

Anamnestisch können typische Unfallmechanismen erfragt werden. Aus ihnen können bereits Verdachtsdiagnosen gestellt werden: beispielsweise spricht das Außenrotations-Flexions-Valgus-Trauma für eine Verletzung der antero-medialen Kniestrukturen. Weitere wichtige Angaben des Patienten betreffen die Gehfähigkeit nach dem Unfall, das Auftreten einer Schwellung, bzw. die bisherige Therapie.

Die Inspektion beinhaltet die Beobachtung des Gangbildes, der Muskulatur (Umfangmessung) und der Stellung und Form des verletzten Kniegelenkes. Prellmarken, Hämatome oder alte Narben können auf die Lokalisation der Verletzung hinweisen.

3.3.2. Palpation und Funktionsprüfung

Palpatorisch werden intra- und extraartikuläre Flüssigkeitsansammlungen unterschieden und druckschmerzhafte Bezirke lokalisiert (Ursprungs- und Ansatzstellen der Seitenbänder, Patella, dorsomediale und -laterale Kapsel).

Die Funktionsprüfung umfaßt die Untersuchung von aktiver und passiver Beugung und Streckung, sowie der Rotation.

3.3.3. Stabilitätsprüfung

Die Stabilitätsprüfung erfolgt mittels Abduktions- und Adduktions-Test, Prüfung der vorderen und hinteren Schublade, Pivot-Shift-Test und Überstrecktest.

Abduktions- und Adduktions-Test werden sowohl in Streckung, als auch in 20° Beugung durchgeführt. Es ist zu berücksichtigen, daß in Streckstellung eine intakte dorsomediale, bzw. dorsolaterale Kapsel die Aufklappbarkeit verhindert, auch wenn das entsprechende Kollateralband rupturiert ist. In 20° Flexion können Innen- und Außenband isoliert geprüft werden. Die Aufklappbarkeit wird in mm angegeben: 3-5 mm = 1+, 5-10 mm = 2+, über 10 mm = 3+ (92).

Eine weitgehend isolierte Prüfung des vorderen Kreuzbandes ist mit dem Lachman-Test möglich. In leichter Kniebeugestellung umfaßt der Untersucher Femur und Tibia kniegelenknah und bewegt sie im Schubladensinne gegeneinander. Die auslösbare Schubladenstrecke wird (analog zur Einteilung beim Abduktions-Adduktions-Test) in

mm angegeben. Zusätzlich wird das Vorhandensein eines Anschlages beurteilt. Ein positiver Lachman-Test ohne Anschlag weist auf das Fehlen des vorderen Kreuzbandes, ein positiver Test mit Anschlag auf die Elongation des vorderen Kreuzbandes hin (22, 127). Ein positiver Lachman-Test nach dorsal verifiziert die Verletzung des hinteren Kreuzbandes.

Durch den Schubladentest in 90° Kniebeugung lassen sich Rotationsinstabilitäten feststellen (119). Am liegenden Patienten mit rechtwinkelig gebeugtem Kniegelenk wird der Tibiakopf mit beiden Händen umfaßt und nach vorne bzw. hinten bewegt. Der Untersucher sitzt auf dem Vorfuß des Patienten, um ihn in der gewünschten Position zu fixieren. In Mittelstellung des Fußes erfolgt die Stabilitätsprüfung des vorderen bzw. hinteren Kreuzbandes. Es ist zu beachten, daß, im Gegensatz zur Ruptur des hinteren Kreuzbandes, eine isolierte vordere Kreuzbandruptur nicht nachgewiesen werden kann (127). Nur bei zusätzlicher Verletzung des medialen und/oder lateralen Bandapparates fällt der Test positiv aus. Bei Ruptur des hinteren Kreuzbandes kann der Tibiakopf spontan nach dorsal zurücksinken und damit zur Fehldiagnose einer vorderen Instabilität führen (89). Bei 15° Außenrotationsstellung des Fußes erfolgt die Prüfung von anteromedialer und posteromedialer, bei 30° Innenrotation die von anterolateraler und posterolateraler Stabilität.

Mit dem Pivot-Shift-Test kann die Subluxationstendenz des lateralen Tibiaplateaus nach ventral durch ein Schnellphänomen bei Reposition nachgewiesen werden, wenn man das Kniegelenk aus der Streckstellung bei Valgusstreß und Innenrotation in die Kniebeugung überführt (38, 118).

Der Überstrecktest ist positiv bei Verletzung des dorsalen Kapselbandapparates und des vorderen Kreuzbandes. Durch Hochheben der Beine kann eine Überstreckbarkeit im Seitenvergleich nachgewiesen werden.

3.4. Methode und Patientengut

3.4.1. Untersuchungstechnik

Zur Prüfung der Stabilität von vorderem Kreuzband und Innenband liegt der Patient bequem und möglichst entspannt in Rückenlage. Das verletzte Kniegelenk befindet sich in 20° Beugstellung. Nach Darstellung der sonographischen Standardebenen in Neutralposition werden die Stabilitätsprüfungen entsprechend dem Lachman-Test bzw. der Prüfung der medialen Aufklappbarkeit durchgeführt. Der Untersucher sitzt an der Außenseite des Knies und führt mit der linken Hand den Schallkopf. Mit der anderen Hand umfaßt er die Tibia und übt einen Zug nach ventral bzw. lateral aus (Abb. 2 a, b).

Die Fixierung des Oberschenkels erfolgt durch eine Hilfskraft oder eine, speziell zu diesem Zweck angefertigte, Haltevorrichtung. Durch Kniestützen verschiedener Höhe ist sichergestellt, daß jeder Patient eine Kniebeugstellung von 20° einnimmt. Die Konstruktion wird mit der Untersuchungs-liege fest verschraubt. Ein breiter Gurt fixiert den Oberschenkel (Abb. 3).

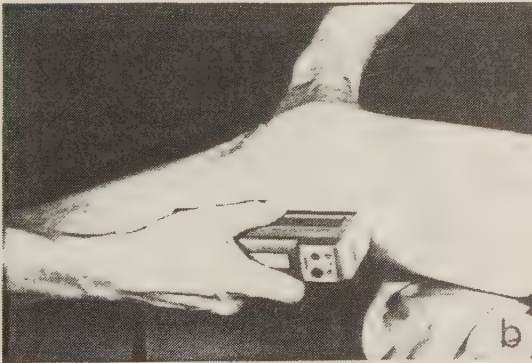
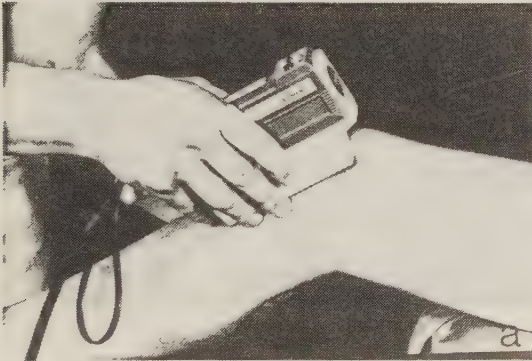


Abb. 2 a, b Durchführung der sonographischen Funktionsuntersuchungen am Kniegelenk. Stabilitätsprüfung des vorderen Kreuzbandes mittels Lachman-Test (a) und Prüfung der medialen Bandstrukturen in 20° Kniebeugung (b).



Abb. 3 Hilfsgerät zur sonographischen Untersuchung des Kniegelenkes.

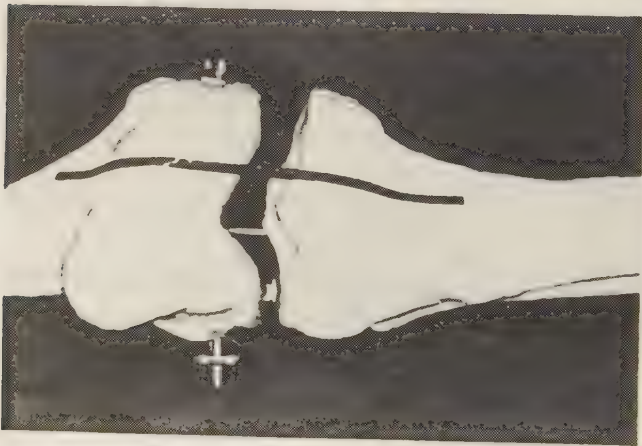


Abb. 4 Knochenpräparat eines Kniegelenkes. Schnittebene zur Prüfung der Kreuzbandstabilität.

3.4.2. Standardebene

Zur Prüfung der vorderen Schublade führt der Untersucher den Schallkopf unmittelbar medial der Patella, so daß sich ein streng sagittaler Längsschnitt ergibt, bei dem die ventralen Knochenkonturen des medialen Femurkondylus und des proximalen Tibiaendes zur Darstellung kommen (Abb. 4).

Entsprechend den internationalen Richtlinien werden proximale Abschnitte stets auf der linken Bildseite abgebildet (57).

Die Einstellung der Standardebene wird zunächst in Ruheposition und anschließend bei maximaler, manuell ausgeführter vorderer Schublade dokumentiert. Durch Vergleich der Aufnahmen in Neutral- und Streßposition wird die Verschiebbarkeit der vorderen Tibiakontur zum medialen Femurkondylus bestimmt. Man zeichnet dazu eine Gerade in das Sonogramm ein, die den proximalen Endpunkt der Tibia berührt und distal mit ihrer horizontalen Kontur zusammenläuft. Von dieser Geraden wird ein Lot auf den höchsten Punkt des Femurkondylus gefällt. Als Maß für die Instabilität gilt der Unterschied dieser Strecke bei Neutralstellung und maximaler vorderer Schublade (Abb. 5 a, b).

Zur Untersuchung der medialen Aufklappbarkeit dient die Einstellung des Schallkopfes in frontaler Ebene, unmittelbar hinter dem Innenband. Bei 20° Kniebeugstellung erfolgen Aufnahmen in Neutralstellung und bei maximalem Valgusstreß. Das Ausmaß einer Instabilität ergibt sich aus der Differenz der Strecken, die durch die Endpunkte der medialen Femur- und Tibiakontur festgelegt sind (Abb. 6 a, b).

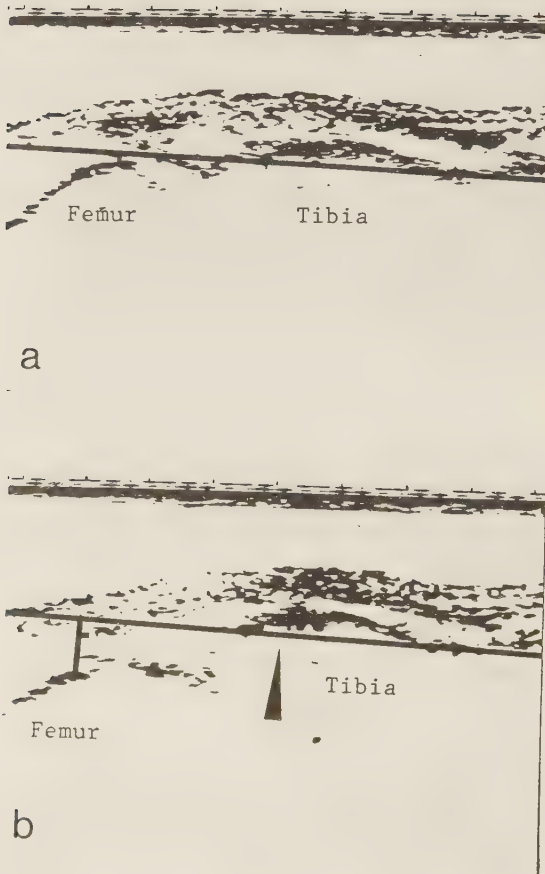


Abb. 5 a, b Sonographische Darstellung des Lachman-Testes in Neutralstellung (a) und maximaler Streßposition (b) bei einem 23-jährigen Patienten mit frischer Ruptur des vorderen Kreuzbandes.



Abb. 6 a, b Mediale Aufklappbarkeit bei 20° Kniebeugung in Neutralposition (a) und bei maximalem Valgusstreß (b). Intraoperativ fand sich ein kompletter femoraler Ausriß des Innenbandes.

3.4.3. Verwendete Geräte

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen erfolgten mit einem Real-Time-Ultraschallgerät (Siemens SONOLINE SL CCIR) mit 84 mm breitem Linear-Schallkopf (5,0 MHz). Zur besseren Ankoppelung und Darstellung oberflächen-naher Strukturen wurden bei Bedarf Wasser- oder Kunststoffvorlaufstrecken verwendet. Die Dokumentation erfolgte mit einer Multifilmkamera (UNI-Quattro MX 4000), zum Teil auch zusätzlich auf Videoband (Sony U-Matic).

Das verwendete Ultraschallgerät lieferte Abbildungen, die um den Faktor 1,1 vergrößert sind. Um die Untersuchungsergebnisse zu standardisieren und nachvollziehbar zu machen, wurden die Meßwerte mit einem Korrekturfaktor multipliziert. Sie entsprechen damit einer Abbildung der Knochen und Weichteilstrukturen im Maßstab 1:1.

3.4.4. Untersuchungen am Knochenpräparat im Wasserbad

Um die definierten Schnittebenen ihrem anatomischen Korrelat zuzuordnen und Veränderungen des Ultraschallbildes beim Abweichen von diesen Ebenen darzustellen, wurde ein Knochenpräparat untersucht.

Zur Ankoppelung des Schallkopfes an die Knochen wurden diese - in 20° Kniebeugestellung - in einem Behälter mit entgastem Wasser gelagert. Entgastes Wasser kam zur Anwendung, um Artefakte durch Luftblasen zu vermeiden.

Die definierte Ebene zur Stabilitätsprüfung des vorderen Kreuzbandes wurde dokumentiert und den veränderten Knochenkonturen bei Abweichen des Schallkopfes

nach medial und lateral-distal gegenübergestellt. Die Standardebene für die Innenbanduntersuchung wurde mit Einstellungen verglichen, die zu weit ventral oder dorsal lagen.

3.4.5. Patientengut

Zur Prüfung der klinischen Anwendbarkeit wurden 96 Patienten untersucht, die mit teils frischen, teils veralteten Kniegelenksinstabilitäten in der Orthopädischen Klinik des Klinikums Großhadern operativ behandelt werden mußten. Das Durchschnittsalter der Untersuchten betrug 26 Jahre. 73 Patienten waren männlichen, 23 weiblichen Geschlechts.

Die Ergebnisse der präoperativen Ultraschalluntersuchung wurden dokumentiert und mit den Operationsbefunden in Beziehung gesetzt.

Um vergleichbare Normalbefunde zu erhalten, wurde eine Kontrollgruppe von 50 Personen zusammengestellt. Durch Anamnese und klinische Untersuchung konnten frühere Verletzungen und Instabilitäten ausgeschlossen werden. Das Geschlechtsverhältnis betrug in dieser Gruppe 34 Männer zu 16 Frauen, bei einem Durchschnittsalter von 27 Jahren.

3.5. Ergebnisse

3.5.1. Ergebnisse der Untersuchungen am Knochenmodell

Die sonographische Darstellung des Knochenpräparates in den Standardebenen zeigte die Knochenkonturen wie erwar-

tet. Unterschiede zum Ultraschallbild in vivo ergaben sich lediglich durch das Fehlen eines Weichteilmantels, der die Schallwellen normalerweise abschwächt, die grossen Impedanzunterschiede zwischen Wasser und Knochenpräparat, sowie durch Streuung an der unregelmäßigen Knochenoberfläche. Dadurch erschienen die Knochenkonturen etwas breiter und stärker echogen (Abb. 7 a, 8 a).

Bei einem Abweichen von den Standardebenen ergaben sich charakteristische Unterschiede:

Wurde bei Prüfung der Kreuzbandstabilität der Schallkopf zu weit medial angesetzt, führte dies zu einem steilen Abfall der Tibiakontur.

Bei zu weit lateral und distal eingestellter Schnittebene erschien distal die Tuberositas tibiae, der proximale Tibiaanteil war abgeflacht (Abb. 7 b, c).

Lag die Schnittebene an der Medialseite des Kniegelenkes zu weit ventral, verschwand die nahezu horizontale Femurkontur, die in der Standardebene von Tuberculum adductorium und Epicondylus medialis gebildet wird. Der Femur erschien bogenförmig, entsprechend der Form des Condylus medialis.

Bei der nach dorsal abweichenden Einstellung des Schallkopfes war das distale Tibiaende nicht mehr darstellbar. Die Femurkontur wurde doppelhöckerig, da sie nun aus Epicondylus medialis und Gelenkfläche des Condylus medialis gebildet wird (Abb. 8 b, c).

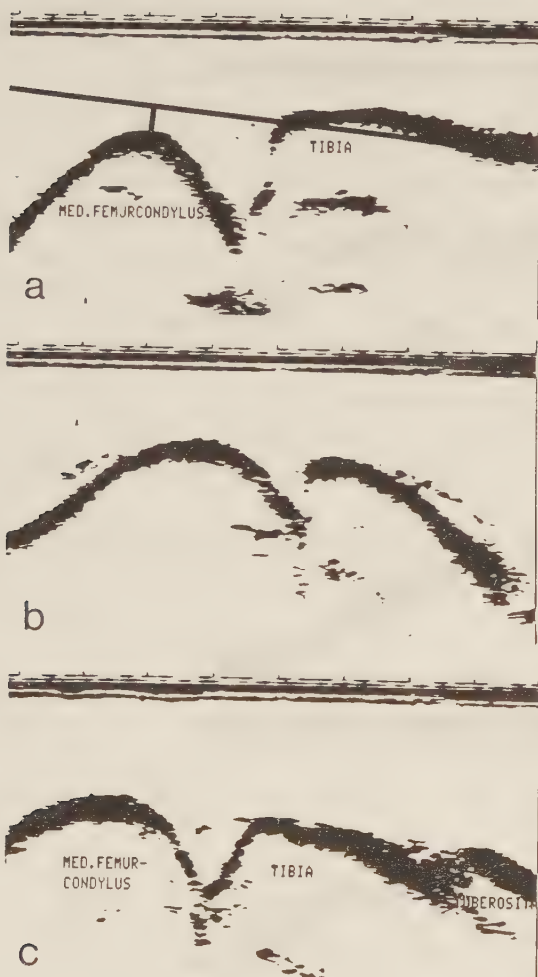


Abb. 7 a-c Knochenpräparat im Wasserbad. Die Standardebene zur Prüfung des vorderen Kreuzbandes (a) unterscheidet sich deutlich von Schallkopfpositionen, die medial (b) und lateral (c) davon liegen.

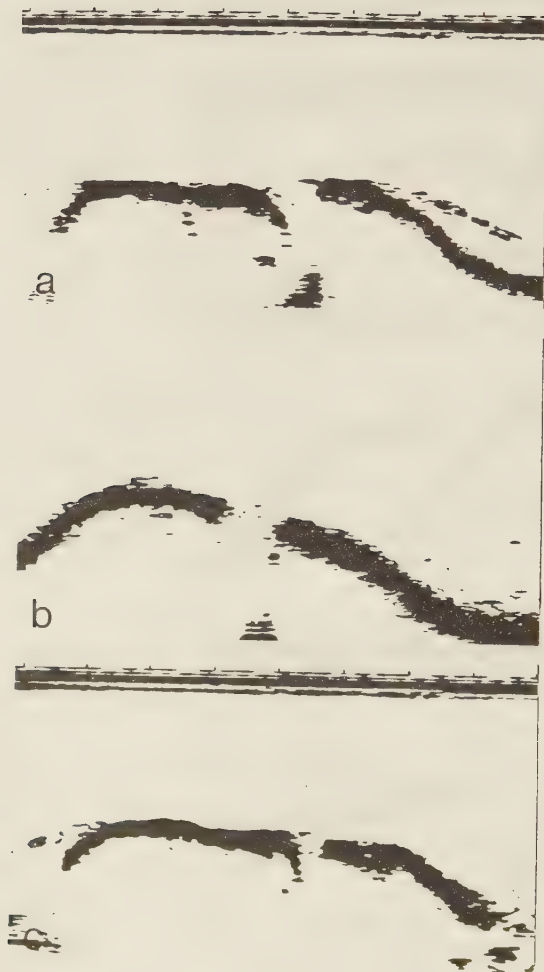


Abb. 8 a-c Darstellung der Knochenkonturen an der medialen Seite des Kniegelenkes. Standardebene (a) und Einstellungen, die nach ventral (b) und dorsal (c) abweichen.

3.5.2. Ergebnisse der klinischen Untersuchungen

Entsprechend den Ergebnissen von klinischer Untersuchung bzw. intraoperativem Befund ließen sich drei Gruppen bilden. Die erste Gruppe bestand aus Probanden, bei denen durch Anamnese und klinische Untersuchung die Stabilität des Kniegelenkes gesichert war. Die zweite Gruppe umfaßte alle Patienten mit Ruptur oder Verlust des vorderen Kreuzbandes, sowohl in isolierter Form, als auch mit Beteiligung von dorsomedialer Kapsel und/oder Innenmeniskus. Patienten mit zusätzlicher Ruptur oder Elongation des Innenbandes bildeten die dritte Gruppe. Diese Einteilung fand sich auch bei den Ergebnissen der Ultraschalluntersuchung (Abb. 9)

Die sonographischen Ergebnisse konnten bei allen 96 Patienten operativ bestätigt werden (Tab. II).

Tab. II Intraoperative Befunde am Kniegelenk (n = 96)

Teilruptur des vorderen Kreuzbandes	1
Isolierte Ruptur des vorderen Kreuzbandes	4
Ruptur oder Verlust des vorderen Kreuzbandes mit Beteiligung von dorsomedialer Kapsel und/oder Innenmeniskus	46
Ruptur oder Verlust des vorderen Kreuzbandes bei gleichzeitiger Ruptur oder Elongation des medialen Kollateralbandes	43
Komplette Zerreißung aller Kniebandstrukturen	2

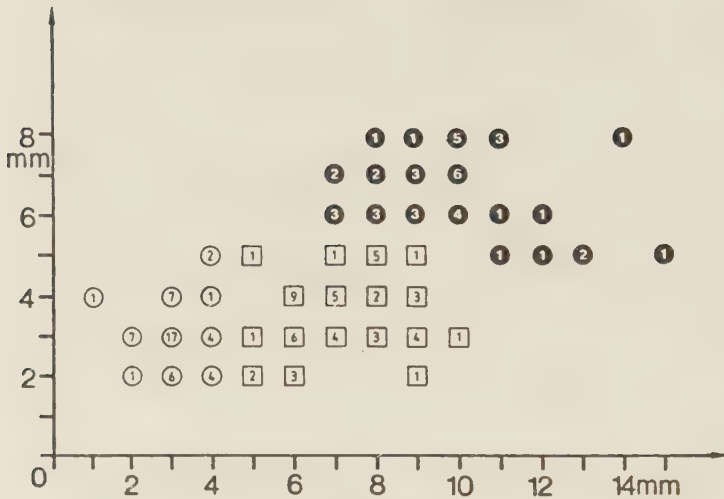


Abb. 9 Ergebnisse der sonographischen Stabilitätsprüfung von vorderem Kreuzband und Innenband. Die Position der untersuchten Personen ist bestimmt durch den Wert für die Subluxation der Tibia nach ventral (Abszisse) und den Wert für die mediale Aufklappbarkeit (Ordinate).

- = Kontrollgruppe mit stabilem Kapselbandapparat
- = Patienten mit Ruptur oder Verlust des vorderen Kreuzbandes ohne/mit Beteiligung der dorsomedialen Kapsel und/oder des Innenmeniskus
- = Patienten mit Ruptur oder Verlust des vorderen Kreuzbandes, Verletzung des Innenbandes und Beteiligung von dorsomedialer Kapsel und/oder Innenmeniskus

Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigten Patienten mit insuffizientem vorderem Kreuzband eine deutlich vermehrte Subluxierbarkeit nach ventral. Während sich bei intaktem Kapselbandapparat eine durchschnittliche Ventralisation der Tibia um 2,6 mm (Standardabweichung $s = \pm 0,6$ mm) erzielen ließ, betrug diese bei vorderer Kreuzbandläsion 6,3 mm ($s = \pm 1,3$ mm). War zusätzlich das Innenband betroffen, stieg der Wert auf 8,9 mm ($s = \pm 1,7$ mm) (Abb. 10).

Bei der Prüfung der medialen Aufklappbarkeit ergaben sich bei gesundem Kniegelenk im Durchschnitt 2,7 mm ($s = \pm 0,7$ mm). Ein fast identischer Wert fand sich auch bei Patienten mit unverletztem medialem Kollateralband, während bei Ruptur oder Elongation des Innenbandes im Valgusstreß die mediale Aufklappbarkeit einen Mittelwert von 5,6 mm ($s = \pm 1,2$ mm) erreichte (Abb. 11).

Intraoperativ wurden bei 16 Patienten frische Innenbandverletzungen gefunden. Sie wurden unterteilt in vier Teilrupturen und zwölf komplette Rupturen. Als Teilruptur wurden alle Schäden definiert, bei denen das Band makroskopisch erkennbar überdehnt war, ohne vollständige Kontinuitätsdurchtrennung zu erlangen. Die Ultraschalluntersuchung erbrachte bei Patienten mit Teilruptur eine durchschnittliche Aufklappbarkeit von 4,7 mm ($s = \pm 0,9$ mm). Bei kompletter Innenbandruptur betrug sie 6,3 mm ($s = \pm 0,9$ mm).

Bei veralteten Innenbandläsionen wurde, wegen der Schwierigkeit das Ausmaß der Elongation exakt anzugeben, auf eine weitere Unterteilung der Kollateralbandinsuffizienz verzichtet.

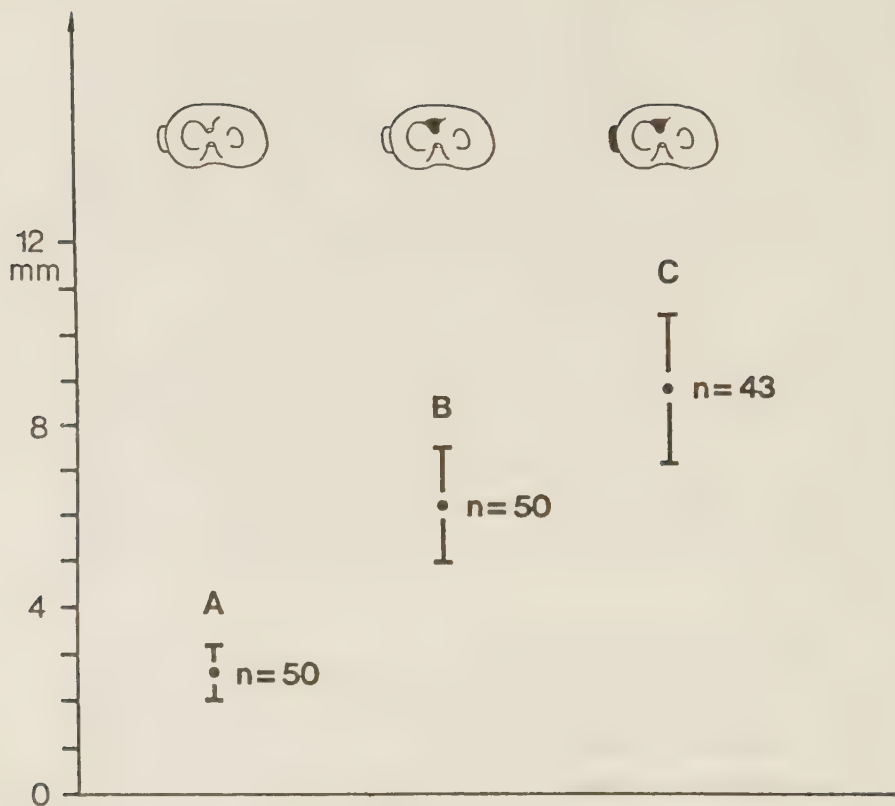


Abb. 10 Ausmaß der vorderen Schublade bei 20° Kniebeugung. Mittelwerte und Standardabweichung für intakte Kniebandverhältnisse (A), Ruptur des vorderen Kreuzbandes (B) und Insuffizienz von vorderem Kreuzband und Innenband (C).

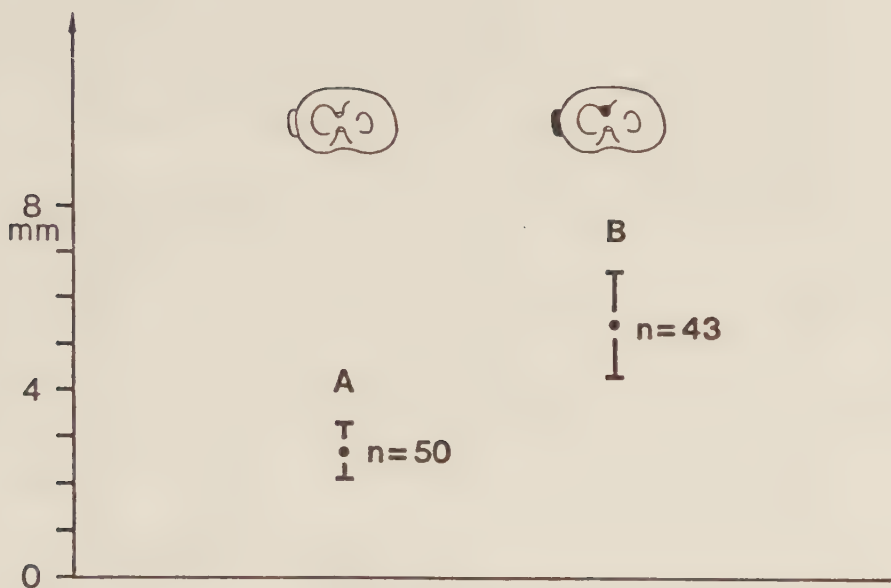


Abb. 11 Graphische Darstellung der medialen Aufklappbarkeit in Kniebeugestellung von 20° mit Mittelwert und Standardabweichung bei intakten Bandstrukturen (A) und verletztem medialen Kollateralband (B).

Bei den 50 Personen der Kontrollgruppe und 64 Patienten wurde auch die sonographische Untersuchung der Gegenseite dokumentiert. Elf Patienten wiesen auch auf der "unverletzten Seite" klinisch und sonographisch Zeichen von Instabilität auf. Für die übrigen 53 Patienten und die gesunden Probanden wurde die Differenz zwischen den Meßwerten beider Kniegelenke gebildet.

Die Stabilitätsprüfung des vorderen Kreuzbandes ergab bei beidseitig intaktem Kapselbandapparat einen mittleren Wert von 0,6 mm ($s = \pm 0,4$ mm). War das vordere Kreuzband rupturiert, betrug die Differenz zur Gegenseite 3,5 mm ($s = \pm 1,5$ mm). Bei zusätzlichem Innenbandschaden stieg sie auf 6,0 mm ($s = \pm 2,0$ mm) (Abb. 12).

Die Untersuchung der medialen Aufklappbarkeit erbrachte für Kontrollgruppe und Patienten mit Läsion des vorderen Kreuzbandes einen Differenzwert von 0,6 mm. Die Standardabweichung betrug in der ersten Gruppe $\pm 0,5$ mm, in der zweiten Gruppe $\pm 0,7$ mm. Bei zusätzlicher Ruptur des Innenbandes erhöhte sich der Wert auf 2,8 mm ($s = \pm 1,2$ mm) (Abb. 13).

Intraoperativ wurde bei einem Patienten eine Teilruptur des vorderen Kreuzbandes festgestellt. Im Ultraschallbild bestand eine leichte Instabilität, deren Ausmaß mit 4,5 mm zwischen den Durchschnittswerten für intaktes und rupturiertes vorderes Kreuzband lag.

In zwei anderen Fällen lag eine komplette Zerreißung aller Bandstrukturen vor. Sonographisch waren vordere Schublade und mediale Aufklappbarkeit stärker ausgeprägt als bei den anteromedialen Instabilitäten.

Bei vier Patienten, die in den bisherigen Ergebnissen

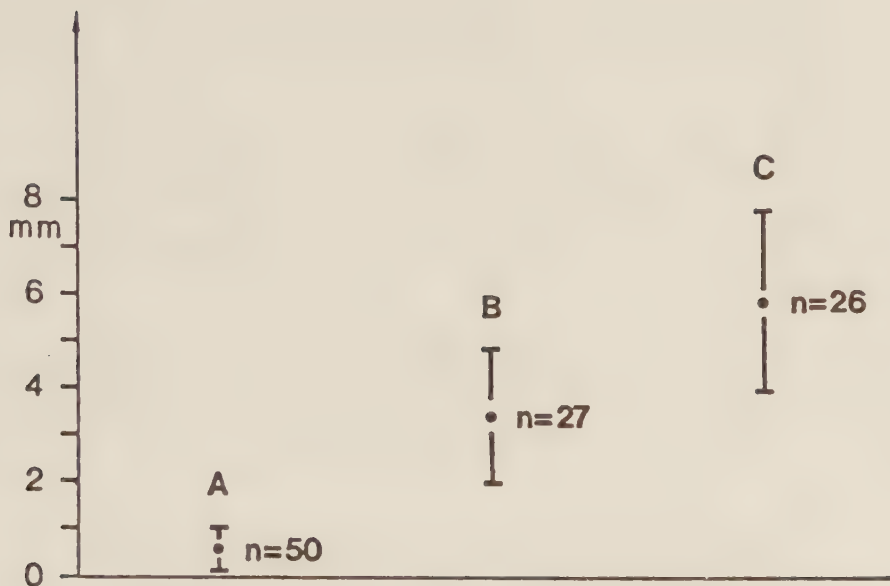


Abb. 12 Ergebnisse des sonographischen Lachman-Testes für die Untersuchung im Seitenvergleich. Mittelwert und Standardabweichung bei beidseitig intaktem Bandapparat (A), rupturiertem vorderen Kreuzband (B) und Schädigung von vorderem Kreuzband und medialem Bandapparat (C).

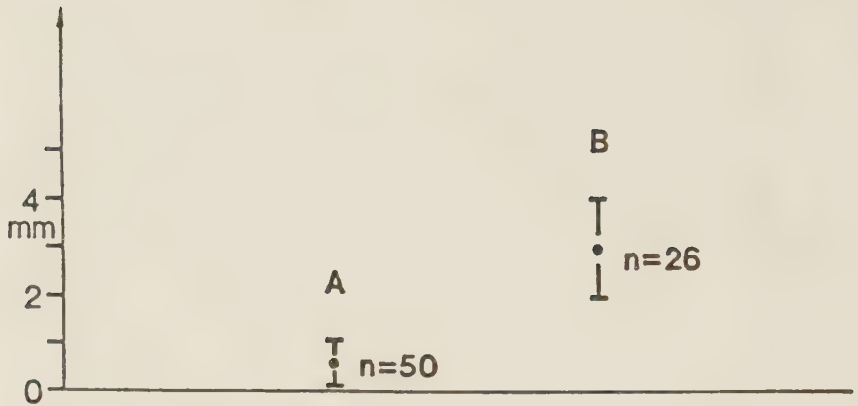


Abb. 13 Mediale Aufklappbarkeit im Seitenvergleich. Mittelwert und Standardabweichung für den Differenzbetrag zwischen beiden Kniegelenken bei intakten Bandstrukturen (A) und verletztem medialen Kollateralband (B).

nicht berücksichtigt wurden, fand sich intraoperativ eine Ruptur des hinteren Kreuzbandes. Durch Druck des Tibiakopfes nach hinten konnten diese Instabilitäten sonographisch dargestellt werden (Abb. 14 a-c).

Drei Patienten hatten eine ausgeprägte Gonarthrose. Die Knochenkonturen im Ultraschallbild erschienen dadurch stark verändert. In allen Fällen ließ sich aber durch exaktes Einhalten der Standardebenen das Ausmaß der Instabilität richtig beurteilen (Abb. 15 a, b).

In fünf Fällen erfolgten die sonographischen Funktionsuntersuchungen sowohl mit Hilfe der Haltevorrichtung, als auch mit Unterstützung durch eine Hilfsperson. Unterschiede der Untersuchungsergebnisse wurden dabei nicht festgestellt.

Ohne Einfluß auf das Untersuchungsergebnis blieb auch die wahlweise Verwendung der Wasservorlaufstrecke oder des Kunststoffvorlaufes. Eine Untersuchung ohne Vorlauf war nur bei zwei adipösen und 15 Gelenken mit deutlicher Schwellung möglich. Die dadurch bedingte Verstreichung der äußeren Gelenkkonturen ermöglichte eine ausreichende Ankoppelung des Schallkopfes an die Untersuchungsregion.

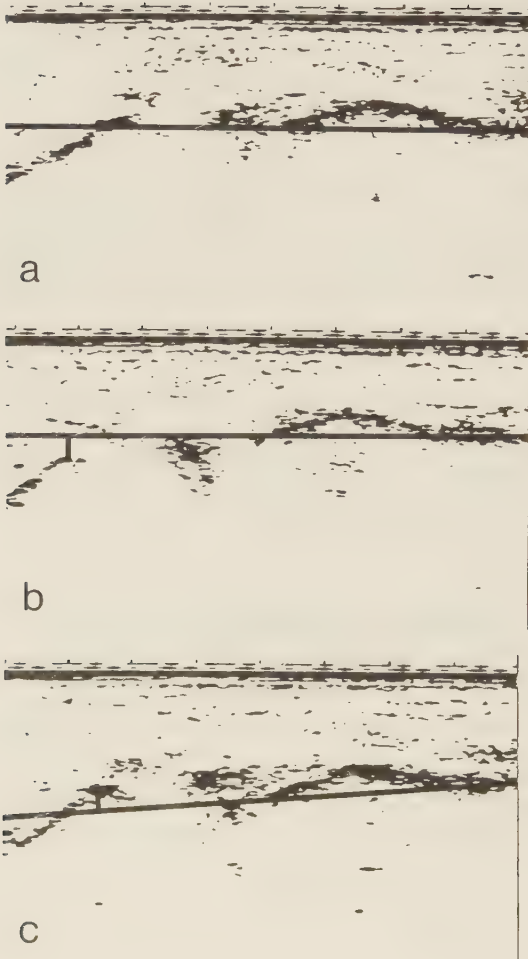


Abb. 14 a-c Sonogramme einer Patientin mit operativ gesicherter Ruptur des hinteren Kreuzbandes. Der Tibiakopf ist spontan zurückgesunken (a) und läßt sich aus dieser Position nach ventral bewegen (b). Demgegenüber wird bei Schubladenstreß nach hinten die Verschieblichkeit in dorsale Richtung deutlich (c).



Abb. 15 a, b Sonographische Darstellung des Lachman-Tests in Neutralstellung (a) und maximaler Streßposition (b) bei einem 56-jährigen Patienten mit arthrotisch verändertem Kniegelenk. Intraoperativ wurde das Fehlen des vorderen Kreuzbandes bestätigt.

4. Sonographische Funktionsuntersuchungen am oberen Sprunggelenk

4.1. Anatomie

4.1.1. Knöcherne Führung

Das obere Sprunggelenk wird gebildet aus der Knöchelgabel - bestehend aus Tibia und Fibula - und der Talusrolle. Distale Tibia und Fibula sind durch die Syndesmosenbänder in der Incisura tibiae gelenkig miteinander verbunden. Beim Gehakt kommt es zu einer wechselnden Druckbelastung von etwa 200-300 N/cm² (17, 95). Die Wichtigkeit des exakten Zusammenspiels aller Führungsstrukturen am oberen Sprunggelenk zeigt sich darin, daß bereits Fragmentdislokationen von einem Millimeter die tragende Gelenkfläche um 30-60 % reduzieren. Dies führt zur Erhöhung des Belastungsdruckes auf die verbleibende Gelenk-Kontaktfläche und somit letztendlich zu einem Überlastungsschaden des Gelenkknorpels (102, 103).

Das Bewegungsausmaß im oberen Sprunggelenk beträgt 60° und setzt sich aus 20° Dorsal- und 40° Plantarflexion zusammen (16). Zusätzlich kommt es während der dorso-plantaren Bewegung zu einer Innen- bzw. Außenrotation des Talus. Diese wird in der Literatur anhand von zwei verschiedenen Modellen interpretiert.

Nach Barnett und Napier (5) entspricht das Profil der Talusrolle von lateral gesehen einem Kreisausschnitt, von medial dem Ausschnitt aus einer Ellipse: die Trochlea tali ist hier ventral stärker gekrümmt als dorsal. Die unterschiedlichen Krümmungen bedingen zwei verschiedene Krümmungsmittelpunkte. Während der Dorsalflexion im

oberen Sprunggelenk richtet sich daher die Talusquerachse medial auf, während der Plantarflexion sinkt sie medial ab.

Inman (58) stellt den Talus vereinfacht als Kegelausschnitt dar. Die Basis des Kegels liegt in einer Ebene parallel zur lateralen Gelenkfläche des Talus. In der Frontalebene liegt die Achse in einem Winkel von durchschnittlich 82° zur Tibialängsachse, im Vergleich zur Kniegelenksachse ist sie im Mittel um 23° nach außen gedreht. Entsprechend verläuft die Bewegungsachse im oberen Sprunggelenk von medial-kranial nach lateral-kaudal, wobei sie innen und außen knapp distal der Knöchelspitzen liegt.

Da der Innenknöchel für den Talus einem starren Anschlag bildet muß der Außenknöchel den Rotationsbewegungen des Talus folgen, um eine straffe Führung der Talusrolle durch die Syndesmosenbänder während der Flexion zu gewährleisten. Die Dorsalflexion im oberen Sprunggelenk bewirkt eine Einstellbewegung des Außenknöchels nach innen, dorsal und proximal. Während der Plantarflexion rotiert die Fibula nach außen und verschiebt sich nach ventral-medial und distal (12, 48, 64, 129, 137).

Die Syndesmose wird bei der Dorsalflexion nur in sehr geringem Ausmaß gespreizt (86, 129). Diese Beobachtung steht in Einklang mit Untersuchungen, die zeigen, daß der Breitenunterschied zwischen ventraler und dorsaler Talusrolle geringer ist, als ursprünglich angenommen (64, 115).

4.1.2. Ligamentäre Führung

Die ligamentäre Führung des Talus in der Sprunggelenkgabel erfolgt durch die medialen und lateralen Kollateralbänder.

Medial zieht das Lig. deltoideum von der Spitze des Malleolus medialis fächerförmig zum Os naviculare, Talus und Calcaneus. Es besteht aus einer oberflächlichen und einer tiefen Schicht. Die oberflächlichen Anteile, Ligg. tibionaviculare und tibiocalcaneare, ziehen zur Tuberositas ossis navicularis und zum Sustentaculum tali calcanei. Die tieferliegenden Ligg. tibiotalare anterius und posterius ziehen zum Collum tali und zum Tuberculum mediale des Processus posterior tali.

Das laterale Seitenband läßt sich in die Ligg. fibulotalare anterius und posterius, sowie das zwischen beiden Bandzügen gelegene Lig. fibulocalcaneare gliedern.

Das Lig. fibulotalare anterius zieht von der Ventralkante des Außenknöchels nahezu horizontal zum lateralen Talushals. Es ist häufig in zwei Einzelbänder unterteilt (10, 61, 79, 87).

Das Lig. fibulocalcaneare entspringt als dicker, glatter Strang von der Ventralkante des Außenknöchels, unmittelbar unter dem Ansatz des Lig. fibulotalare anterius und zieht schräg distal dorsalwärts zu einer kleinen Knochen-erhebung am lateralen Calcaneus. Seine Außenfläche bildet eine leichte Rinne, in der die Sehnen der Mm. peronei gleiten. Häufig finden sich bogenförmige Faserzüge zwischen den Ligg. fibulocalcaneare und fibulotalare anterius. Die Längsachse des Lig. fibulocalcaneare bildet mit der Fibulalängsachse einen variablen Winkel von 10° bis 45° (61, 111).

Das Lig. fibulotalare posterius entspringt auf der Aus- senknöchelinnenseite, dorsal der knorpeligen Gelenkfläche, in einer kleinen Grube und verläuft fast horizontal zum Tuberculum laterale des Processus posterior tali. Es besteht aus zwei bis sechs Bandzügen (61, 87).

Experimentelle Untersuchungen zum Spannungsverhalten der Bänder in unbelastetem Zustand haben ergeben, daß die Ligg. fibulotalare anterius und posterius bei Mittelstellung des Fußes entlastet sind. Bei zunehmender Plantar- und Dorsalflexion spannen sie sich an, wobei die Anspannung in Dorsalflexion überwiegt. Das Lig. fibulocalcaneare ist gespannt bei Dorsalflexion. Bei Plantarflexion und Rechtwinkelstellung ist es weitgehend entlastet. Ausgehend vom entspannten Zustand in Plantarflexion kommt es beim Lig. deltoideum mit zunehmender Dorsalflexion zu einem proportionalen Spannungsanstieg (137).

Die Bedeutung der Bänder für die Stabilisierung des Sprunggelenkes wird deutlich, wenn man diese experimentell durchtrennt. Nach Delplace und Castaing (18) wird der Talus durch das Lig. fibulotalare anterius und die vorderen Anteile des Lig. deltoideum gehalten, wie ein Pferd durch Zügel. Die isolierte Durchtrennung des Lig. fibulotalare anterius bewirkt eine Subluxation des Talus nach ventral bei gleichzeitiger Innenrotation. Entsprechend führt die Durchtrennung des Lig. deltoideum zu einer anteromedialen Rotationsinstabilität.

Bei Plantarflexion verläuft das Lig. fibulotalare anterius fast vertikal, nahezu parallel zur Belastungsachse. In dieser Position hemmt es Inversion und Supination. Das Lig. fibulocalcaneare verläuft bei Plantarflexion horizontal und ist funktionell somit weniger wirksam.

Die isolierte Durchtrennung des Lig. fibulotalare anterius in dieser Position ermöglicht eine Kippung des Talus. Bei Rechtwinkelstellung des Fußes kehren sich die Verhältnisse um. Die seitliche Aufklappbarkeit wird primär durch das Lig. fibulocalcaneare kontrolliert (20, 56, 93, 109, 134).

4.1.3. Muskuläre Führung

Die langen Muskeln des Fußes ermöglichen eine dynamische Stabilisierung des Sprunggelenkes und eine harmonische Anpassung des Fußes an die Bodenbeschaffenheit. Sie überbrücken sowohl das obere, als auch das untere Sprunggelenk, so daß der Talus keine eigene Beweglichkeit besitzt, sondern bei Bewegungen vom proximalen oder distalen Gelenkpartner mitgenommen wird.

Die Lage der einzelnen Muskel ventral oder dorsal der Bewegungsachse des oberen Sprunggelenkes erklärt ihre Funktion als Fußheber oder Fußsenker. Zusätzliche Funktionen im Sinne einer Supination-Pronation, bzw. Adduktion-Abduktion ergeben sich aus der Anordnung lateral oder medial der Fußlängsachse (Abb. 16) (64, 137).

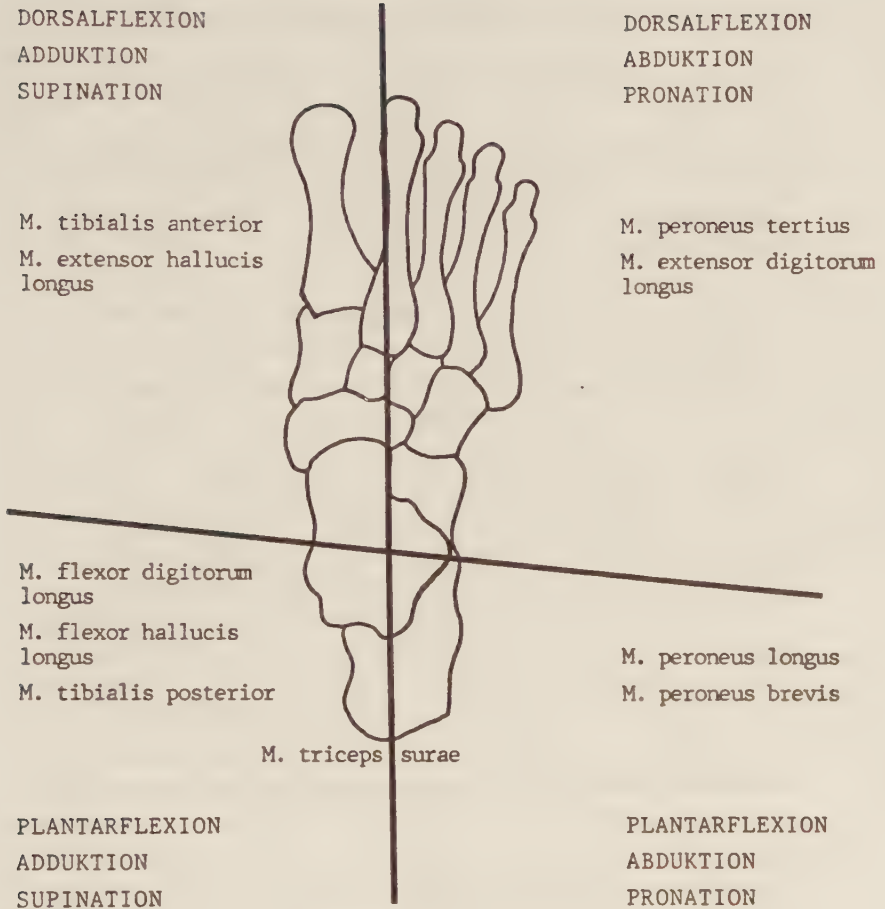


Abb. 16 Funktion der langen Fußmuskeln in Abhängigkeit von ihrer Lage zur Flexionsachse des oberen Sprunggelenkes und zur Längsachse des Fußes (nach 64, 137).

4.2. Das Supinationstrauma des oberen Sprunggelenkes

4.2.1. Unfallmechanismus und pathologische Anatomie

Kapselbandverletzungen am oberen Sprunggelenk treten am häufigsten fibularseitig auf. Bei der Mehrzahl aller Sprunggelenksverrenkungen kommt es zur Ruptur des lateralen Bandapparates (11, 43).

Der typische Unfallmechanismus besteht in einem Übertreten bei Supination, Adduktion und leichter Plantarflexion des Fußes (4, 20, 26, 44). Dabei kippt der leicht adduzierte Vorfuß über den lateralen Fußrand um. Das Körpergewicht lastet auf der Fußaußenkante, wodurch der Kapselbandapparat zwischen Fibula, Talus und Calcaneus maximal gespannt wird. Kann die Stellmuskulatur die einwirkenden Kräfte nicht auffangen, kommt es zu einer Kippung des Talus in Supination-Adduktion-Inversion des Fußes und damit zur Zerrung oder Ruptur des fibularen Bandapparates. Entsprechend seiner Verlaufsrichtung bei Plantarflexion reißt zunächst immer das Lig. fibulotalare anterius, bei stärkerer Gewalteinwirkung zusätzlich das Lig. fibulocalcaneare und schließlich selten das Lig. fibulotalare posterius (4, 20, 26, 44).

Bandrupturen können aber nicht nur durch ein einmaliges Geschehen, sondern auch durch mehrere zeitlich gestaffelte Bagatelltraumata entstehen. Diese führen zu Mikroläsionen, die die Reißfestigkeit des Bandes relevant vermindern (112).

Die Angaben zur Verletzungshäufigkeit der einzelnen Band-

strukturen divergieren zum Teil beträchtlich. Während ein Teil der Autoren die isolierte Ruptur des Lig. fibulotalare anterius in 65-70 % der Fälle beobachtet (10, 11, 45, 63, 78), wird von Anderen die kombinierte Verletzung der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare mit 65-80 % angegeben (96, 97, 105). Die komplette Ruptur aller drei Außenbänder wird einheitlich als selten betrachtet. Ein außerordentlich seltener Fall ist die isolierte Ruptur des Lig. fibulocalcaneare. Als Ursache hierfür wird ein Adduktionsstreß bei Rechtwinkelstellung oder Dorsalflexion des Fußes angenommen (31).

Die Gelenkkapsel ist bei einer Außenbandruptur immer mitverletzt. Einen Einriß der Peronealsehnenscheide findet man häufig bei einer Ruptur des Lig. fibulocalcaneare (10). Die Syndesmose und das Lig. deltoideum bleiben stets intakt.

4.2.2. Klinischer Befund

Eine genaue Anamnese über den Unfallhergang und vorausgegangene Distorsionen an beiden Extremitäten ist bei jeder Sprunggelenksverletzung unerlässlich. Das klinische Bild der Supinationsverletzung ist geprägt von Schmerzen am Gelenk, einer zunehmenden Schwellung vor und unter dem Außenknöchel und einem später auftretenden Hämatom. Der Patient hält den Fuß in Schonstellung: leichte Plantarflexion und Supination.

Palpatorisch läßt sich der Hauptschmerz über den Ansatzstellen der verletzten Bänder lokalisieren. Die aktive Bewegung des Fußes ist häufig schmerzbedingt unmöglich.

Durch passive Supination des Fußes kann bei Verletzung des Lig. fibulotalare anterius ein Schmerzmaximum vor dem Außenknöchel ausgelöst werden. Bei zusätzlicher Verletzung des Lig. fibulocalcaneare erfolgt eine Schmerzangabe auch bei Adduktion des Rückfußes. Ein komplett gerissenes Band verursacht bisweilen weniger Schmerzen als eine einfache Distorsion ohne Bandinsuffizienz. Aufschlüsse über das Ausmaß der Verletzung kann die klinische Prüfung der lateralen Aufklappbarkeit und der Subluxierbarkeit des Talus nach ventral liefern (4, 12, 42, 62, 97).

Bei Bandverletzungen des oberen Sprunggelenkes sollte immer auf folgende Begleitverletzungen geachtet werden:

Fraktur der distalen Fibula, Fraktur des Malleolus medialis, Frakturen an Collum oder Trochlea tali, Flake Fracture am Talus, Epiphysenlösung bei Kindern, Abrißfrakturen am Processus anterior calcanei und am Processus styloideus des Cuboid, Abrißfrakturen am Os metatarsale V, traumatische Peronealsehnenluxation (11, 44, 97, 129, 137).

4.3. Methode und Patientengut

4.3.1. Standardebene und Untersuchungstechnik

Zur Stabilitätsprüfung des Außenbandapparates des oberen Sprunggelenkes werden zwei sonographische Schnittebenen definiert. Für das Lig. fibulotalare anterius verläuft die Schnittebene vom fibularen Bandursprung

über talaren Bandansatz und den Talushals zum Os naviculare und Os cuneiforme intermedium.

Die Einstellung für das Lig. fibulocalcaneare wird so gewählt, daß sie vom fibularen Ursprung des Bandes zu seinem calcanearen Ansatz, unmittelbar proximal des Tuberculum innominatum verläuft (Abb. 17).

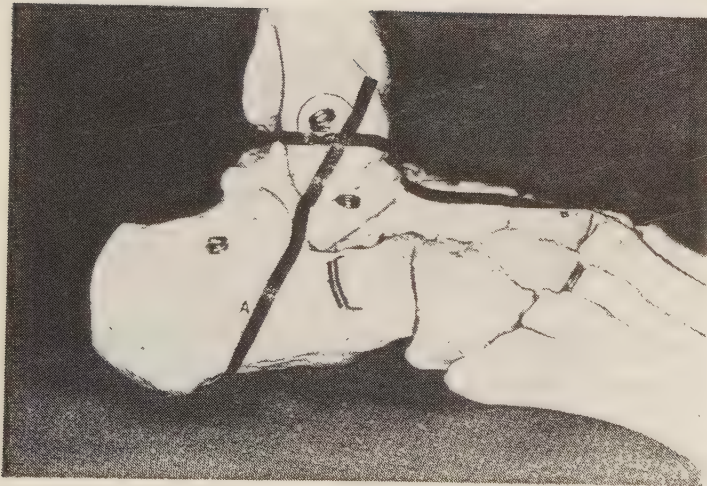


Abb. 17 Standardschnittebenen für (A) das Lig. fibulocalcaneare und (B) das Lig. fibulotalare anterius am Knochenpräparat.

Die Untersuchung erfolgt bei Rückenlage des Patienten. Der Fuß ist mäßig plantar flektiert (15°) und leicht innenrotiert (20°).

Zur Prüfung der Subluxierbarkeit des Talus wird die Ferse des verletzten Fußes auf ein Bänkchen gelagert. Der Untersucher stützt zunächst den Unterschenkel von dorsal, um eine Spontanschublage durch dessen Eigengewicht zu verhindern (Abb 18 a). In dieser Neutralstellung wird die Schnittebene für das Lig. fibulotalare anterius eingestellt und dokumentiert. Anschließend drückt der Untersucher den distalen Unterschenkel nach dorsal. Bei einer Bandinsuffizienz verschiebt sich dadurch die Fibula gegenüber dem Talus nach hinten (Abb. 19 a, b).

Nach Darstellen der Schnittebene für das Lig. fibulocalcaneare in Neutralposition erfolgt die Prüfung der seitlichen Aufklappbarkeit durch maximale Supination (Abb. 18 b, 20 a, b).

Um eine vorliegende Instabilität zu erfassen, werden die Distanzänderungen vom fibularen Bandursprung zum talaren bzw. calcanearen Bandansatz ausgemessen.

4.3.2. Sonographische Untersuchungen an Leichensprunggelenken

Die diagnostische Aussagekraft der sonographischen Funktionsuntersuchungen wurde zunächst in einer leichenexperimentellen Untersuchung geprüft. An fünf frischen Leichen wurde jeweils ein Sprunggelenk untersucht. Die Leichenstarre war in allen Fällen aufgehoben. Bei manueller Prüfung fanden sich keine Instabilitätszeichen.

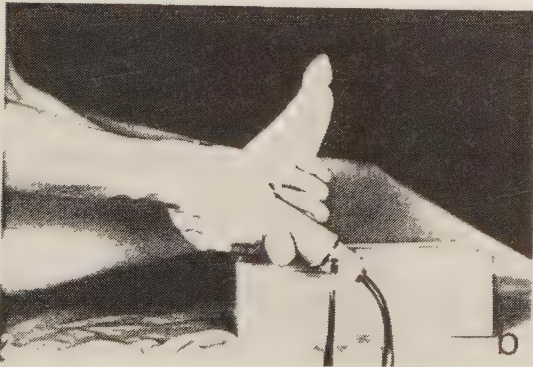
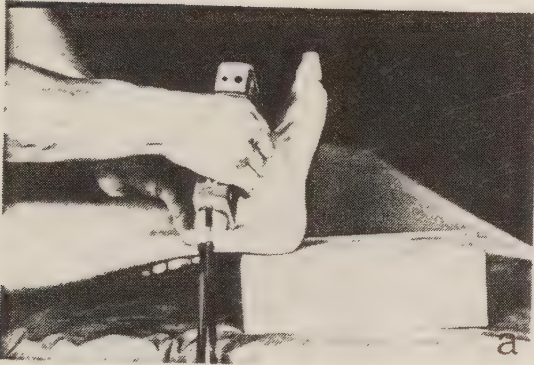


Abb. 18 a, b Sonographische Funktionsuntersuchung am oberen Sprunggelenk. Stabilitätsprüfung des Lig. fibulotalare anteriorius mittels Durchführung der vorderen Schublade (a) und des Lig. fibulocalcaneare durch maximalen Varusstreß (b).

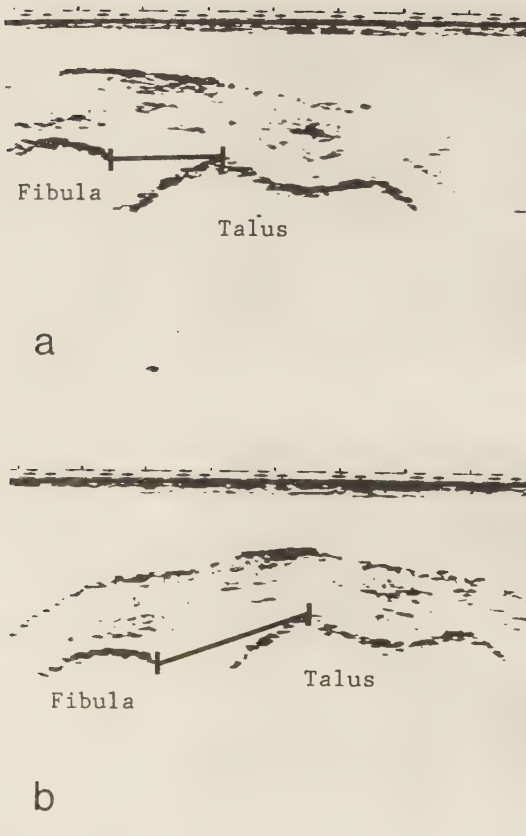


Abb. 19 a, b Frische Ruptur der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare bei einem zwölfjährigen Patienten. Standardschnittebene für das Lig. fibulotalare anterius. (a) Neutralstellung, (b) maximale Subluxation des Talus.

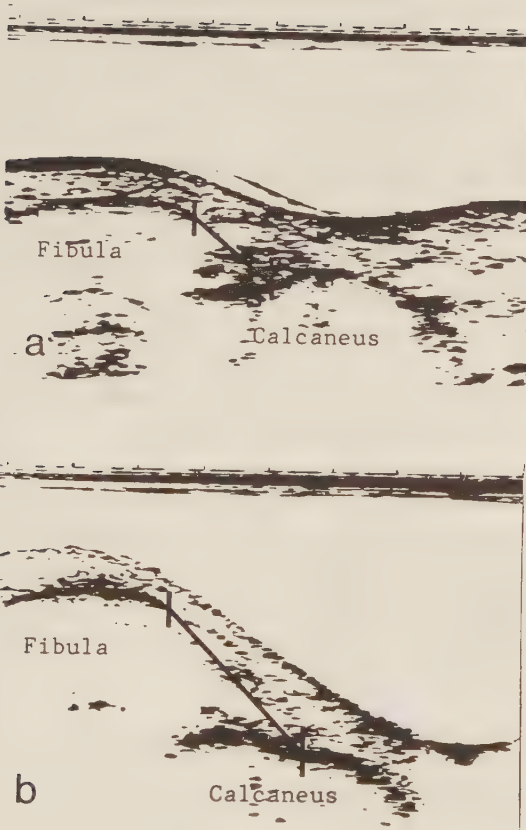


Abb. 20 a, b Untersuchung des Lig. fibulocalcaneare. Die seitliche Aufklappbarkeit ist im Vergleich zur Neutralposition (a) bei maximalem Varusstreß (b) deutlich vermehrt. Intraoperativ wurde die Ruptur des Lig. fibulocalcaneare bestätigt.

Zunächst wurden die sonographischen Standardebenen in Neutral- und Streßposition dokumentiert. Nach Präparation des fibularen Kapselbandapparates wurde bei vier Sprunggelenken das Lig. fibulotalare anterius durchtrennt und die sonographische Untersuchung in beiden Ebenen wiederholt. Anschließend erfolgten Durchtrennung des Lig. fibulocalcaneare und erneute Ultraschalluntersuchung. Bei dem fünften Sprunggelenk wurde zuerst das Lig. fibulocalcaneare, anschließend das Lig. fibulotalare anterius durchtrennt. Nach jedem Schritt wurden Talusschublade und laterale Aufklappbarkeit sonographisch dokumentiert.

4.3.3. Sonographische Untersuchung an Patienten mit fibularer Bandruptur und an Gesunden

Zur Prüfung der klinischen Anwendbarkeit wurde zunächst bei 50 Probanden je ein Sprunggelenk untersucht. Durch Anamnese und klinische Untersuchung waren alte Verletzungen und Instabilitäten ausgeschlossen worden. Das Verhältnis männlich zu weiblich betrug 28 zu 22, das Durchschnittsalter lag bei 24 Jahren.

An 35 Patienten, die sich wegen einer Verletzung des fibularen Bandapparates einer Operation unterzogen, wurde die Ultraschalluntersuchung ebenfalls durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit dem intraoperativen Befund und der Röntgenuntersuchung verglichen. Bei einem mittleren Alter von 31 Jahren wurden 23 Männer und 12 Frauen untersucht.

4.4. Ergebnisse

4.4.1. Ergebnisse der leichenexperimentellen Untersuchung

Bei intaktem fibularen Bandapparat erwiesen sich alle Sprunggelenke als sonographisch unauffällig. Die Variationsbreite war beim Talusvorschub mit Werten von 0 bis 2 mm geringer als bei der seitlichen Aufklappbarkeit (1-3 mm).

Anschließend wurden die Gelenke durch einen bogenförmigen Schnitt hinter dem Außenknöchel eröffnet und die Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare präparatorisch dargestellt. In allen Fällen konnte hierbei die makroskopische Unversehrtheit der Bandstrukturen festgestellt werden (Abb. 21).

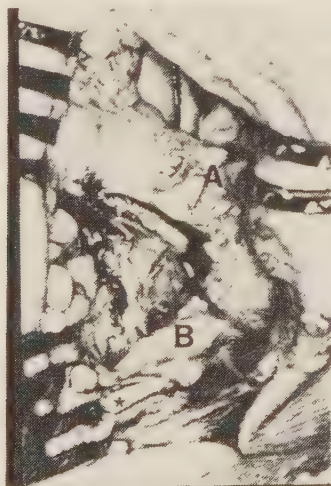


Abb. 21 Präparatorische Darstellung der makroskopisch intakten Ligg. fibulotalare anterius (A) und fibulocalcaneare (B) am Leichenfuß. Die Peronealsehne wurde zur besseren Darstellbarkeit resezziert (*).

Die Bänder eines Sprunggelenkes wurden mit Metallklemmen markiert und die definierten Ebenen sonographisch dargestellt. Durch das typische Echomuster der Klemmen - Metall bewirkt fast völlige Schallreflexion und Wiederholungsechos - konnte der Bandverlauf indirekt dargestellt werden. Er lag, wie aufgrund anatomischer Überlegungen erwartet, in der jeweiligen Untersuchungsebene. Eine direkte Zuordnung bestimmter Echomuster zu nicht markierten Bandstrukturen war nicht sicher möglich.

Die Durchtrennung des Lig. fibulotalare anterius bewirkte in den sonographischen Funktionsaufnahmen eine deutliche Subluxation des Talus nach vorne, sowie eine vermehrte seitliche Aufklappbarkeit. Nach zusätzlicher Resektion des Lig. fibulocalcaneare nahm die seitliche Aufklappbarkeit weiter zu, der Talusvorschub erhöhte sich nur noch gering oder blieb gleich (Abb. 22, 23, 24, 25).

Die isolierte Durchtrennung des Lig. fibulocalcaneare ermöglichte eine laterale Aufklappbarkeit von 10 mm, während die Talusschublade nicht ausgelöst werden konnte. Erst nach Resektion des Lig. fibulotalare anterius kam es auch zur deutlichen Zunahme des Talusvorschubes, sowie einer weiteren Steigerung der lateralen Aufklappbarkeit (Abb. 26).

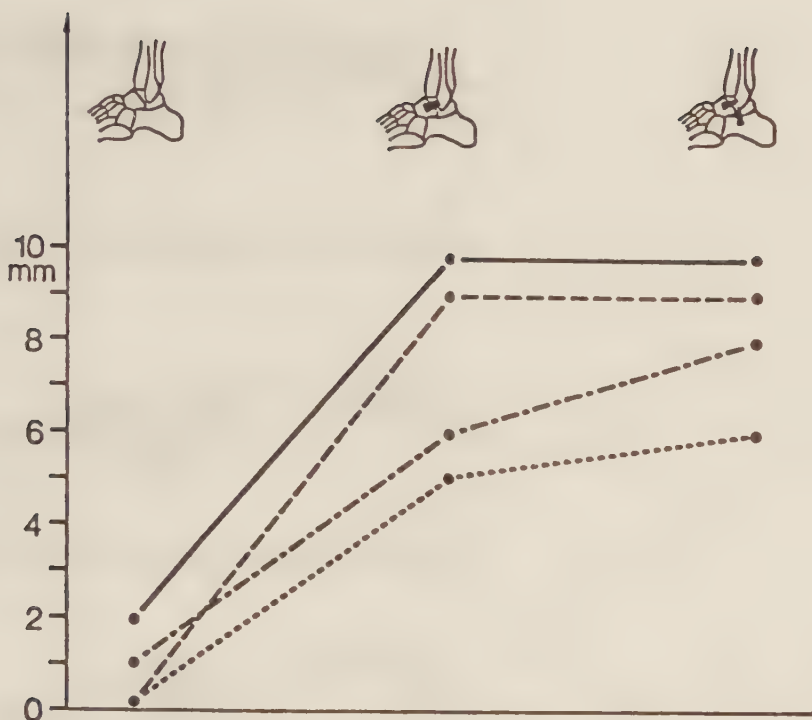


Abb. 22 Zunahme des Talusvorschubes nach sukzessiver Durchtrennung der fibularen Bänder an vier Leichensprunggelenken. Während bei intakten Bandstrukturen der Talusvorschub nur gering ausgeprägt ist, nimmt er nach Resektion des Lig. fibulotalare anteri. deutlich zu. Die zusätzliche Durchtrennung des Lig. fibulocalcaneare bewirkt lediglich in zwei Fällen eine geringe weitere Zunahme.

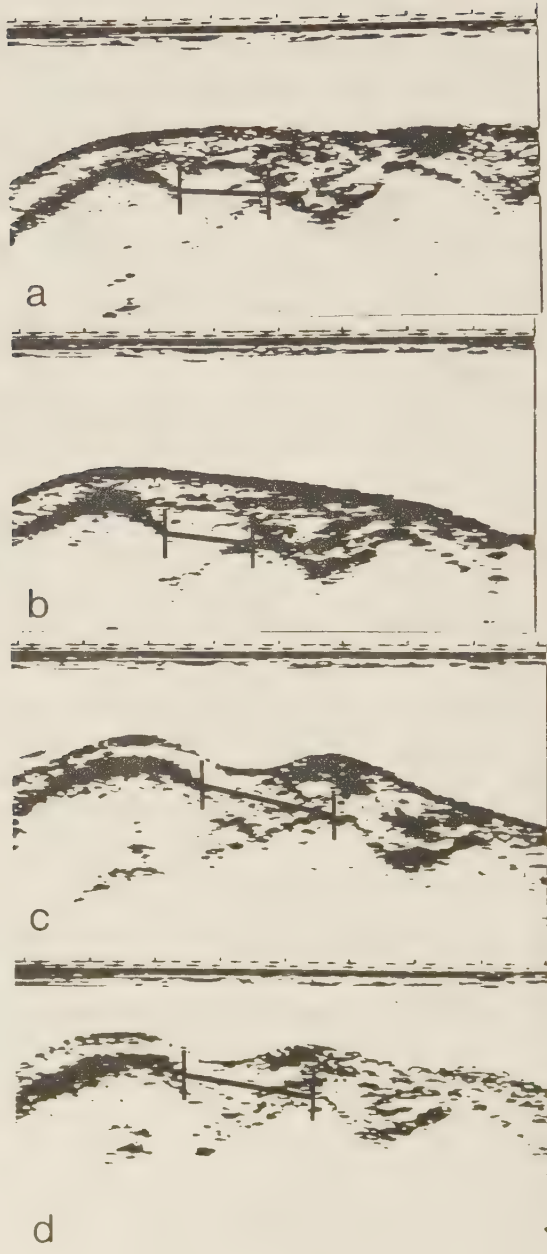


Abb. 23 a-d

Sonographische Darstellung des Stabilitätsverlustes bei sukzessiver Durchtrennung des Außenbandapparates. Standardebene für das Lig. fibulotalare anterius in Neutralstellung (a) und maximaler Streßposition (b) bei intakten Bandstrukturen. Streßaufnahmen nach Durchtrennung des Lig. fibulotalare anterius (c) und zusätzlicher Resektion des Lig. fibulocalcaneare (d).

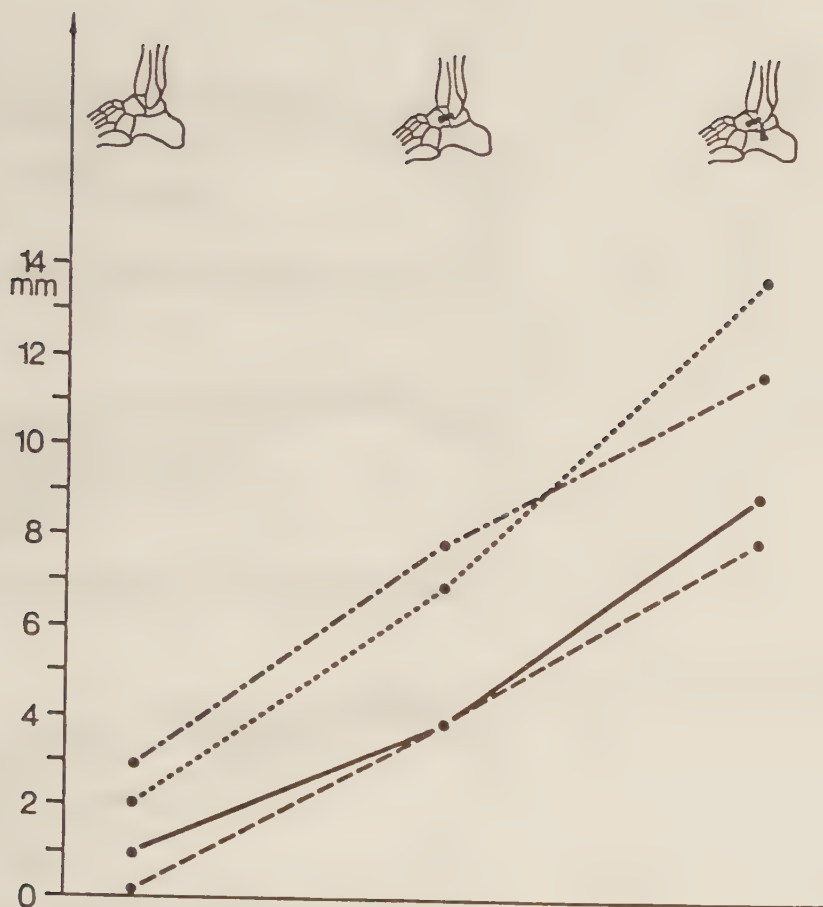


Abb. 24 Graphische Darstellung der seitlichen Aufklappbarkeit bei intaktem Bandapparat, nach Resektion des Lig. fibulotalare anterius und nach zusätzlicher Durchtrennung des Lig. fibulocalcaneare.

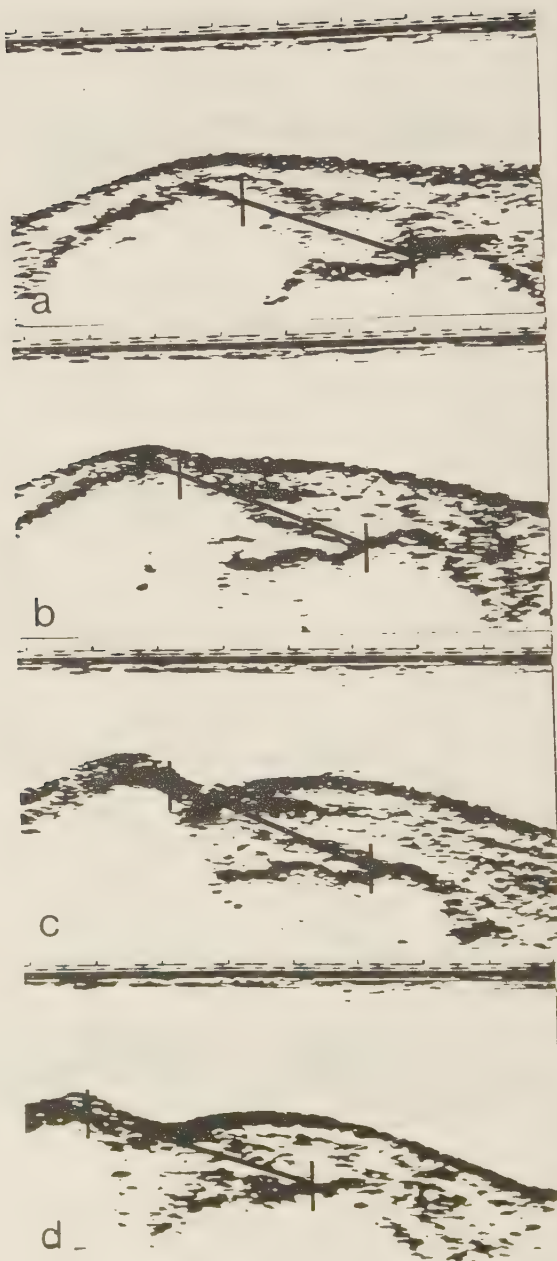


Abb. 25 a-d

Sonographische Funktions-
untersuchung des Lig. fibu-
localcaneare. Bei intakten
Bandverhältnissen ist die
seitliche Aufklappbarkeit
im Vergleich zur Neutral-
position (a) bei maximalem
Varusstreß nur gering er-
höht (b). Nach Resektion
des Lig. fibulotalare an-
terius nimmt sie deutlich
zu (c). Wird zusätzlich das
Lig. fibulocalcaneare durch-
trennt, nimmt sie weiter
zu (d).

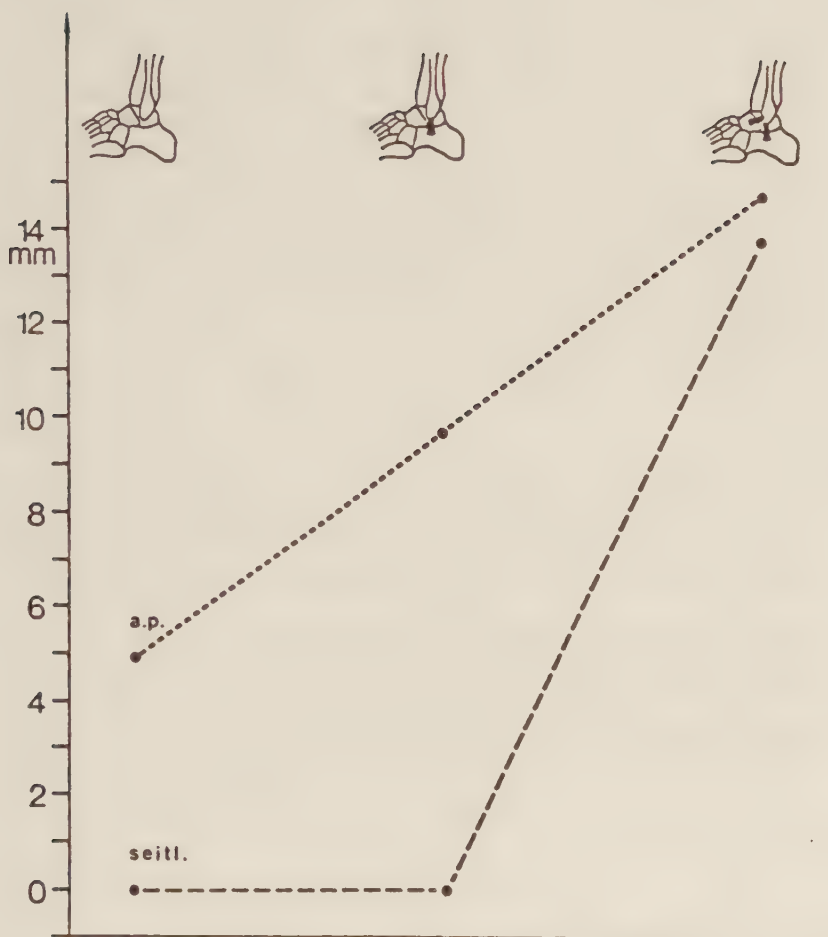


Abb. 26 An einem Leichenfuß wurde zunächst das Lig. fibulocal-
caneare isoliert durchtrennt. Bei negativem Talusvorschub (seitl.)
war die laterale Aufklappbarkeit (a. p.) deutlich ausgeprägt.

4.4.2. Ergebnisse der klinischen Untersuchungen

Bei 32 Patienten wurden im Rahmen der präoperativen Voruntersuchung gehaltene Röntgenaufnahmen angefertigt. Fünfmal war die seitliche, viermal die a.p.-Aufnahme negativ oder grenzwertig, während sonographisch eindeutig eine Instabilität nachzuweisen war. Drei Patienten lehnten wegen der Schmerzhaftigkeit gehaltene Röntgenaufnahmen ab. Intraoperativ wurde bei allen Patienten eine Verletzung des fibularen Bandapparates festgestellt (Tab. III).

Tab. III Intraoperative Befunde am oberen Sprunggelenk (n = 35)

Isolierte Ruptur des Lig. fibulotalare anterius	3
Ruptur des Lig. fibulotalare anterius und Teilruptur des Lig. fibulocalcaneare	4
Ruptur der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare	28

Sonographisch war bei allen Operierten eine Instabilität nachweisbar. Bei Prüfung der Talusschublade ergab sich ein Wert von durchschnittlich 7,6 mm ($s = \pm 2,0$ mm). In der Kontrollgruppe ließ sich jedoch nur ein mittlerer Talusvorschub von 0,8 mm ($s = \pm 0,6$ mm) erzielen.

Waren die Bandverhältnisse intakt, bestand eine seitliche Aufklappbarkeit von 3,0 mm ($s = \pm 1,0$ mm). Bei den Verletzten belief sie sich auf 9,7 mm ($s = \pm 2,3$ mm) (Abb. 27).

Eine vordere Talusschublade war bei intakten fibularen Bandstrukturen nicht oder nur gering vorhanden. Im Einzelnen lagen die Werte zwischen 0 und 2 mm. Bei der seitlichen Aufklappbarkeit ergaben sich für die Vergleichspersonen Werte von 0 bis 5 mm. Bei verletztem fibularen Bandapparat lagen die Werte für den Talusvorschub zwischen 5 und 14 mm. Die seitliche Aufklappbarkeit betrug 6 bis 16 mm (Abb. 28).

Eine genaue Aussage über die Korrelation von Verletzungsausmaß und sonographischem Untersuchungsbefund war am untersuchten Patientengut nicht möglich. Die Mehrzahl der Patienten wies eine Ruptur beider Außenbänder auf. In den vier Fällen einer Teilruptur des Lig. fibulocalcaneare war der verbliebene Rest soweit ausgedünnt oder überdehnt, daß er keine stabilisierende Funktion mehr hatte. Bei drei Patienten mit dem operativen Befund einer isolierten Ruptur des Lig. fibulotalare anterius waren alte Bandverletzungen aus der Anamnese bekannt, so daß eine Elongation des Lig. fibulocalcaneare nicht sicher ausgeschlossen werden konnte.

Bei 34 Personen der Kontrollgruppe und 23 Patienten wurden beide Sprunggelenke im Seitenvergleich untersucht. Elf der Operierten zeigten auch am anderen Sprunggelenk klinisch und sonographisch Zeichen von Instabilität. Die Anamnese ergab hier alte, z.T. konservativ oder unbehandelte Verletzungen. Die ermittelten Werte lagen

deutlich über denen der Kontrollgruppe, erreichten aber nicht das Ausmaß frischer Bandrupturen.

In der Kontrollgruppe betrug die Differenz zur Gegenseite beim Talusvorschub im Mittel 0,6 mm ($s = \pm 0,5$ mm) und 0,8 mm ($s = \pm 0,9$ mm) bei der seitlichen Aufklappbarkeit. Die zwölf Patienten mit Außenbandläsion wiesen bei der Talusschublade eine durchschnittliche Differenz zur Gegenseite von 7,2 mm ($s = \pm 1,3$ mm) auf. Die Differenz der seitlichen Aufklappbarkeit belief sich auf 6,8 mm ($s = \pm 3,2$ mm) (Abb. 29).

Alle Untersuchten wurden nach der Schmerzhaftigkeit der Untersuchung befragt. Personen mit unverletztem Kapselbandapparat oder veralteten Instabilitäten empfanden bei der Untersuchung keine Schmerzen. Von 22 Patienten mit frischer Außenbandläsion gaben 11 an, die Schmerzen seien geringer als bei der vorangegangenen gehaltenen Röntgenaufnahme, drei empfanden bei beiden Untersuchungen gleich starke Schmerzen. Acht Patienten erklärten sie hätten bei der Ultraschalluntersuchung - im Gegensatz zur gehaltenen Aufnahme - keinerlei Schmerzen verspürt (Abb. 30).

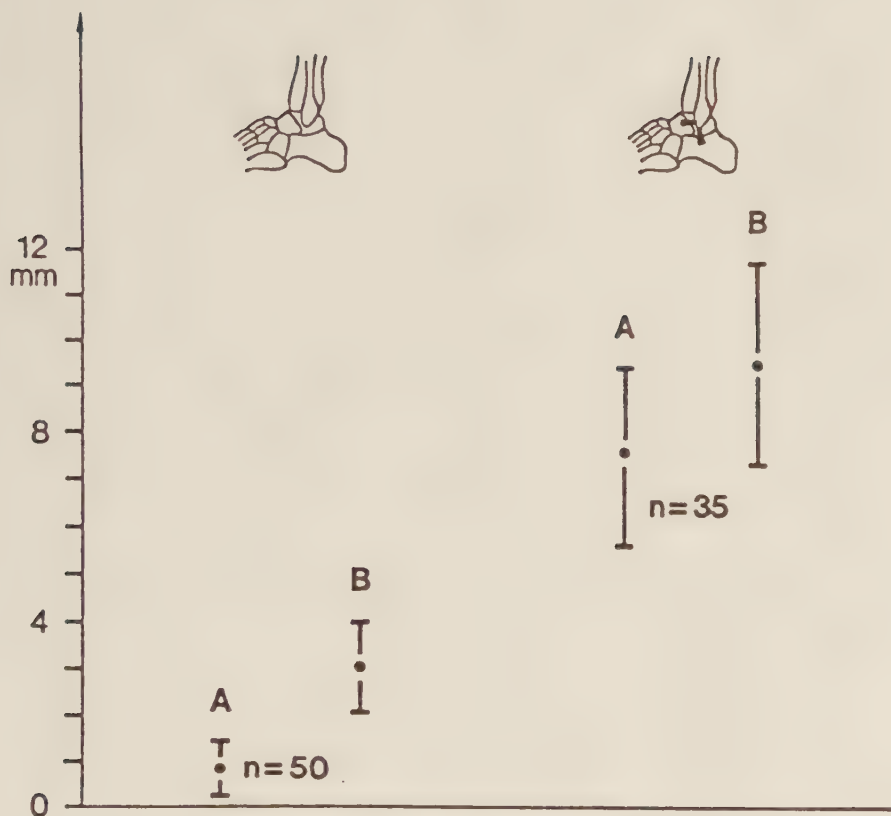


Abb. 27 Ausmaß von Subluxierbarkeit des Talus (A) und seitlicher Aufklappbarkeit (B) bei intaktem (links) und verletztem (rechts) fibularen Bandapparat (Mittelwerte und Standardabweichung).

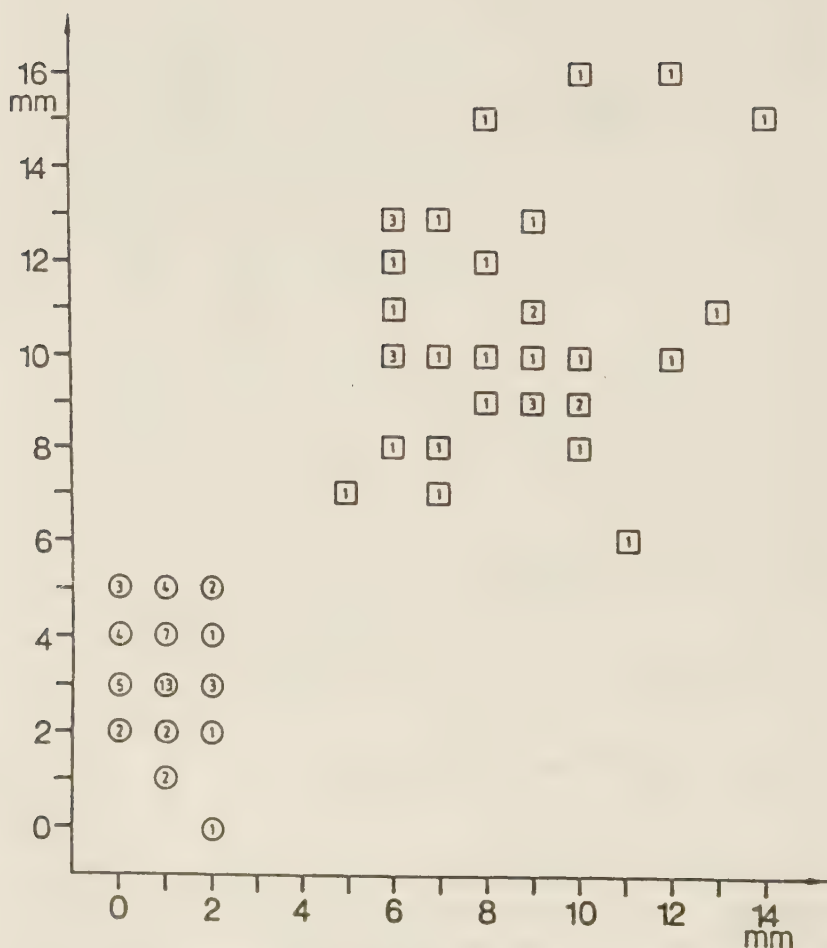


Abb. 28 Graphische Darstellung der sonographischen Ergebnisse aller untersuchten Sprunggelenke. Die Position der Patienten wird bestimmt durch den Talusvorschub (Abszisse) und die laterale Aufklappbarkeit (Ordinate).

○ = Gesunde Probanden

□ = Patienten mit verletztem
fibularen Bandapparat

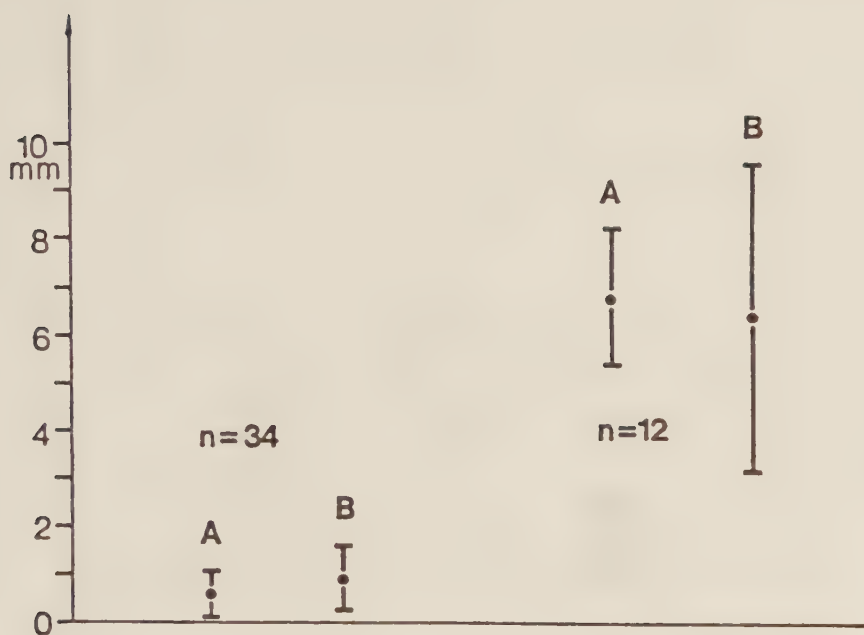


Abb. 29 Untersuchung beider Sprunggelenke im Seitenvergleich. Differenzbeträge für Talusvorschub (A) und seitliche Aufklappbarkeit (B) bei beidseits intakten (links) und einseitig verletzten Bandstrukturen (rechts) (Mittelwerte und Standardabweichung).

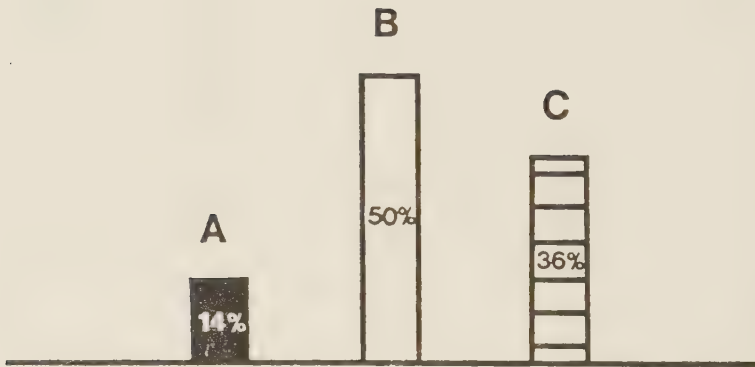


Abb. 30 Befragung über die Schmerzhaftigkeit der sonographischen Untersuchung bei frischer Außenbandläsion.

Mögliche Antworten waren:

- (A) Beide Untersuchungen sind gleich schmerzhaft.
- (B) Die Ultraschalluntersuchung ist weniger schmerzhaft als die gehaltene Röntgenaufnahme.
- (C) Die Ultraschalluntersuchung verursacht keinen Schmerz.

5. Diskussion

5.1. Diagnose und Dokumentation von Kniegelenksinstabilitäten

5.1.1. Die gehaltene Röntgenaufnahme des Kniegelenkes: Indikation, Technik und Probleme der Durchführung

Indikation

Eine Knieinstabilität kann in der Regel bereits durch die klinische Untersuchung festgestellt werden. Entsprechend besteht für gehaltene Röntgenaufnahmen nur eine relative Indikation. Bei geschwollenem oder adiposem Gelenk kann damit das Ausmaß und die Richtung der Instabilität gesichert werden.

Auch zur Dokumentation für gerichtliche und versicherungsrechtliche Fragestellungen sowie für spätere Kontrolluntersuchungen sind solche Aufnahmen empfehlenswert (135).

Technik der gehaltenen Röntgenaufnahmen

Die erste Beschreibung *m a n u e l l* gehaltener Aufnahmen am Kniegelenk stammt aus dem Jahr 1920. Zur Darstellung der lateralen Aufklappbarkeit befestigt Kirchmayr eine Schiene an der Innenseite von Ober- und Unterschenkel. Ein in Höhe des medialen Gelenkspaltes eingebrachter Sandsack dient als Hypomochlion (70).

Bei dem 1934 von Felsenreich beschriebenen Seitenschlottern wird der subluxierte Unterschenkel abduziert und adduziert. Ist das Kniegelenk gestreckt, gilt das Seitenschlottern als Zeichen für eine Verletzung der Kollateralbänder. In 20° Kniebeugstellung tritt es nur bei Verletzung der Kreuzbänder auf (27).

Die radiologische Darstellung der Schubladenbewegung wird erstmals von J. Böhler beschrieben (9). In sitzender Position und einer Kniebeugstellung von 90° läßt sich bei Verletzung des vorderen Kreuzbandes der Unterschenkel nach vorne verschieben.

Um bei der Prüfung der seitlichen Aufklappbarkeit eine konstante Beugstellung zu erreichen, lagert Böhler die Patienten auf einem Holzkeil definierter Größe.

Zur Verminderung der Strahlenbelastung des Untersuchers und zur Standardisierung der Position, in der das Gelenk untersucht wird, werden von einigen Autoren sogenannte *h a l b m a n u e l l e* Verfahren beschrieben. Dazu wird entweder das Bein mit einem Riemen in einer bestimmten Stellung fixiert (85, 132), oder durch Riemen bzw. Sandsäcke eine Streßkomponente erzeugt (34, 53). Bei dem Verfahren von Wirth und Artmann wird das zu untersuchende Knie auf einem Bänkchen im Winkel von 30° fixiert. Während der Untersucher den Unterschenkel auf das Kniebänkchen drückt, wird der Patient aufgefordert, das Kniegelenk zu strecken. Es kommt zur "aktiven vorderen Schublade" (133).

Seit Beginn der 70er Jahre werden zunehmend *a p p a r a t i v* gehaltene Aufnahmen angefertigt. Ziel dieser Methoden ist es, die subluxierende Kraft in konstanter Richtung und mit konstantem Ansatzpunkt am zu untersuchenden Kniegelenk zu applizieren. Dies geschieht entweder durch ein über eine Rolle laufendes Seil mit definierten Gewichten (100, 122, 132), oder durch einen Kraftgeber mit Meßvorrichtung. Letzterer kann als Zug- (104, 128) oder Druckkraftgeber (59, 66, 113, 123) ausgelegt sein. Fußhaltevorrichtungen dienen der definierten Einstellung der

Unterschenkelrotation und der Beibehaltung der eingestellten Knieflexion (59, 66, 122, 123, 128).

Probleme bei der Durchführung

Der Einsatz gehaltener Röntgenaufnahmen am Kniegelenk ist nicht unumstritten (90), ihre Durchführung mit Problemen und Fehlermöglichkeiten verbunden.

Bei manuell gehaltenen Röntgenaufnahmen setzt sich der Untersucher einer Strahlenbelastung aus. Gerade in Fachkliniken mit einem hohen Anteil an Patienten mit Knieinstabilitäten kann dies zu Konflikten mit der Strahlenschutzverordnung führen.

Der Kraftaufwand bei den von Hand gehaltenen Aufnahmen ist unterschiedlich und nicht standardisierbar (122, 125).

Durch die vorgeschriebene Verwendung von Schutzhandschuhen ist weder eine klinische Stabilitätsprüfung noch das Erkennen einer reflektorischen Muskelanspannung sicher möglich. Das Röntgenbild mit dem visuellen Ergebnis der Kraftanwendung liegt erst nach Beendigung der Untersuchung vor.

Die Position, in der das Knie bei der manuellen Methode gehalten wird, variiert. Die Aufnahmen können verkippt oder verwackelt sein. Als Folge kann es zu projektionsbedingten Unsicherheiten bei der Auswertung und Schwierigkeiten bei der Identifikation kommen.

Fehlermöglichkeiten bei der Auswertung ergeben sich auch durch eine unterschiedliche Entfernung der Röntgenkugel oder eine Abweichung des Zentralstrahls (122).

Bei den apparativ gehaltenen Aufnahmen entfällt zwar die Strahlenbelastung des Untersuchers und die angewendete Kraft ist konstant, dafür handelt es sich aber teilweise

um sehr aufwendige Geräte (59, 66). Der Wechsel von der Untersuchung der Aufklappbarkeit zur Untersuchung der Schubladenbewegung macht eine beträchtliche Umrüstung des Halteapparates und eine Umstellung des Röntgengerätes nötig (123). Für den klinischen Routinebetrieb sind solche Untersuchungen daher zu aufwendig (60).

Einige Verfahren dienen nur dem Nachweis einer Aufklappbarkeit in der Frontalebene (85, 132), andere nur dem Nachweis der Schubladeninstabilität in der Sagittalebene (122, 128).

Die Rotationsstellung des Unterschenkels ist bei einigen Halteapparaten nicht exakt fixierbar (104, 113). Außerdem kann es auch mit fixiertem Unterschenkel zu einer Rotation der Tibia beim Schubladenstreß kommen. Dadurch kann sich das Ausmaß der Schubladenbewegung verringern (59).

Abgesehen von wenigen Ausnahmen (104, 123, 133) erfolgt die Untersuchung der Schubladenverschieblichkeit bei einer Kniebeugestellung von 90° . Diese entspricht nicht der natürlichen Schonhaltung bei frisch verletztem Gelenk (136). Unter Umständen kann die rechtwinkelige Beugung unmöglich sein. Schmerzbedingt kann es zur reflektorischen Anspannung der Muskulatur und damit zu einem falsch negativen Ergebnis der gehaltenen Röntgenaufnahme kommen.

Die Ausprägung der Schublade in 90° ist geringer als bei annähernder Kniestreckung. Eine isolierte Ruptur des vorderen Kreuzbandes kann verborgen bleiben (136).

Gehaltene Röntgenaufnahmen sind nur dann aussagekräftig, wenn alle Muskeln des zu untersuchenden Oberschenkels und wenn möglich auch des übrigen Körpers entspannt sind. Dazu muß sich der Verletzte in Rückenlage befinden und

im Augenblick der Aufnahme völlig entspannt sein. Schon ein Anheben des Körpers von der Unterlage löst eine reflektorische Anspannung der gesamten ventralen Muskulatur vom Hals bis zum Oberschenkel aus (98). Bei den gehaltenen Röntgenaufnahmen befindet sich der Patient aber entweder in sitzender Position oder in Seitenlage. Es erscheint daher fraglich, ob die Muskulatur während der Durchführung der Untersuchung wirklich entspannt ist.

Die gehaltene Röntgenaufnahme ist eine vom Muskeltonus abhängige Momentaufnahme (90). Ein Anspannen der Muskulatur kann weder sicher erkannt, noch ausgeschlossen werden. Man kann zwar versuchen durch langsame Steigerung der applizierten Kraft ein Anspannen des Patienten zu verhindern oder durch eine längere Belastungsdauer eine Erschlaffung der Muskulatur herbeizuführen, ob dies aber im Augenblick der Aufnahme wirklich der Fall ist, kann der Untersucher nicht sicher beurteilen.

5.1.2. Instrumentelle Messung von Knieinstabilitäten: Das Arthrometer KT-1000

Neben der Möglichkeit Knieinstabilitäten radiologisch darzustellen, wurden Versuche unternommen, dies mit mechanischen Vorrichtungen zu erreichen (81, 128). Während die Geräte anfangs noch relativ unhandlich waren und hauptsächlich an Leichenpräparaten erprobt wurden, steht neuerdings mit dem von Daniel e. a. verwendeten Arthrometer KT-1000 ein leistungsfähiges und in der Klinik erprobtes Gerät für die Prüfung der Kreuzbandstabilität zur Verfügung (14, 15).

Bei diesem Apparat werden die Faktoren, die eine Ventralbewegung der Tibia verhindern könnten auf ein Minimum reduziert: Der konstante Flexionswinkel von 30° ermöglicht eine isolierte Prüfung des vorderen Kreuzbandes. Die Entspannung des Patienten kann durch den direkten Kontakt des Untersuchers sichergestellt werden. Die angewendete Kraft ist standardisiert, ihre Größe, Richtung und Ansatzpunkt bleiben konstant (80).

Durch Kniebänkchen definierter Höhe und eine Fußhalterung wird eine konstante Ausgangsposition von 30° Knieflexion und $15-20^\circ$ Außenrotation des Fußes gewährleistet. Das Gerät wird auf die Ventralseite des Unterschenkels aufgesetzt und mit Bändern fixiert. Über zwei frei bewegliche Auflagepunkte an Patella und Tuberculum tibiae wird die relative a.p.-Bewegung registriert. Die Kraft wird über eine Zugvorrichtung mit Kraftmeßeinheit appliziert. Dabei zeigt ein Signalton an, wenn die Zug- bzw. Druckkraft 89 N beträgt. Die erreichte a.p.-Bewegung kann auf einer Anzeige abgelesen werden.

Während der Untersuchung liegt der Patient bequem und ent-

spannt auf dem Rücken. Eine rasche, jedoch sanfte Zugbewegung am Hebel begünstigt die Entspanntheit der Muskulatur (14, 15, 80).

Die Aussagekraft dieses Untersuchungsverfahrens wurde in mehreren klinischen Studien geprüft (14, 15, 80). Danach ist eine sichere Unterscheidung zwischen intaktem und rupturiertem vorderen Kreuzband möglich. Wegen der individuell unterschiedlich straffen Bandführung wird die Untersuchung im Seitenvergleich empfohlen (15). Ein direkter Vergleich der gefundenen Werte mit Ergebnissen der sonographischen Stabilitätsprüfung ist wegen der unterschiedlichen knöchernen Bezugspunkte nicht möglich. Prinzipiell finden sich bei beiden Untersuchungsmethoden deutlich differierende Meßergebnisse für ein intaktes bzw. ein verletztes vorderes Kreuzband. Bei der Untersuchung im Seitenvergleich weisen gesunde Probanden nur geringe Differenzwerte auf, während bei einseitig verletztem Kniegelenk ein deutlicher Unterschied auftritt.

5.1.3. Sonographische Funktionsuntersuchungen bei Kniegelenksinstabilitäten

Die Diagnose einer Kapselbandverletzung durch direkte Beurteilung der verletzten Strukturen im Ultraschallbild ist nicht möglich. Die knöchernen Anteile des Kniegelenkes verhindern, vorallem bei der Untersuchung von ventral, eine sichere Darstellung der intraartikulär liegenden Kreuzbänder. Die Bandstrukturen können nicht immer von den umgebenden Strukturen abgegrenzt werden (106). Aus dem Reflexverhalten der Bänder lassen sich keine Rückschlüsse auf deren mechanische Stabilität ziehen (51).

Demgegenüber gelingt es nach unserer Auffassung mit Hilfe mechanischer Belastungstests in standardisierten Schnittebenen Bandinstabilitäten sonographisch nachzuweisen und zu dokumentieren.

Häufigste Instabilitätsform am Kniegelenk ist die anteromediale Rotationsinstabilität (136). Unser Interesse galt daher erstens der Stabilitätsprüfung des vorderen Kreuzbandes durch sonographische Darstellung des Lachman-Testes und zweitens der Prüfung der medialen Aufklappbarkeit. Mit sonographischen Funktionsuntersuchungen ist aber auch die Prüfung von hinterem Kreuzband und lateralem Seitenband möglich (52).

Technik der sonographischen Untersuchung

Die sonographische Untersuchung des vorderen Kreuzbandes erfolgt - entsprechend dem Lachman-Test - in 20° Kniebeugung. Diese Position entspricht der natürlichen Schonhaltung bei frisch verletztem Kniegelenk. Der reflektorische Gegenzug der Oberschenkelmuskulatur kann leichter überwunden werden als beim herkömmlichen Schubladentest in 90° Flexionsstellung (127). Die Bremswirkung des Innenmeniskushinterhornes ist eliminiert (136). Die Artikulationsfläche des Femur ist bei geringem Beugewinkel nahezu eben und behindert deshalb nicht die Vorwärtsbewegung der Tibia beim Schubladenstreß (127). Die extensionsnahe vordere Schublade ist auch bei isolierter Ruptur des vorderen Kreuzbandes positiv, die Ausprägung deutlicher als in Rechtwinkelstellung (136). Da der Lachman-Test durch zusätzliche Verletzungen an Menisken und Kollateralbändern relativ unbeeinflusst ist, gilt er als spezifisch für die Prüfung des vorderen Kreuzbandes (22).

Die mediale Aufklappbarkeit wird sonographisch ebenfalls

in 20° Kniebeugung geprüft. Die hintere Gelenkkapsel ist in dieser Stellung entspannt und kann daher eine Verletzung der medialen Bandstrukturen nicht verdecken (62).

Die sonographische Untersuchung ist ohne größeren apparativen Aufwand durchführbar. Der Wechsel von der Untersuchung der Schubladenbeweglichkeit zur Prüfung der medialen Aufklappbarkeit kann rasch und ohne Umrüstung erfolgen.

Durch Kniebänken verschiedener Höhe wird auch bei Personen unterschiedlicher Größe eine konstante Kniebeugestellung gewährleistet. Ein breiter Riemen fixiert den Oberschenkel bei der Durchführung des sonographischen Lachman-Testes. Beim Abduktions-Test dient er gleichzeitig als Widerlager. Alternativ kann der Oberschenkel auch durch eine Hilfskraft manuell fixiert werden. Dabei ist zu beachten, daß eine starke Kompression des M. quadriceps Schmerzen und nachfolgend eine reflektorische Muskelanspannung verursachen kann (22).

Am Knochenmodell konnte gezeigt werden, daß die definierten Ebenen exakt bestimmten anatomischen Strukturen zugeordnet werden können. Bereits ein geringes Abweichen aus der Standardebene führt zu einer deutlichen Veränderung der dargestellten Knochenkonturen.

Die Standardebenen sind immer darstellbar, selbst bei starker arthrotischer Deformierung.

Werden die definierten Ebenen genau eingehalten, sind reproduzierbare und vergleichbare Aufnahmen möglich. Ein Abweichen aus den Ebenen führt zu einer falsch

positiven oder negativen Bewertung der Stabilität.

Der Schallkopf muß über eine ausreichende Breite verfügen, um die gesamte Standardebene darzustellen. Wird die Schnittebene nur teilweise dargestellt, kann erstens nicht sicher beurteilt werden, ob es sich wirklich um die Standardebene handelt und ist zweitens das Einzeichnen der Meßpunkte und -linien erschwert oder unmöglich.

Der applizierte Schallstrahl muß die Knochenkonturen streng senkrecht treffen. Andernfalls erscheint die Knochenkontur verbreitert und die Meßergebnisse werden verfälscht.

Die Sonogramme von Neutral- und Streßposition müssen hinsichtlich der abgebildeten Knochenkonturen absolut identisch sein, um eine sichere Aussage über die Stabilität machen zu können.

Bei der sonographischen Funktionsuntersuchung wird die Kraft manuell appliziert. Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit werden dadurch nicht beeinträchtigt. Eine konstante Kraft, wie sie bei den apparativ gehaltenen Röntgenaufnahmen angewendet wird, garantiert keinen konstanten Weg im Sinne einer maximalen Subluxation der Tibia bzw. einer maximalen seitlichen Aufklappbarkeit. Spannt nämlich der Patient gegen, kann auch bei konstanter Kraft die abnorme Beweglichkeit nicht bis zu ihrem maximalen Ausmaß nachvollzogen werden. Eine Erhöhung der Kraft verhindert weder das Anspannen des Patienten, noch kann sie dieses sicher beseitigen. Sie führt auch nicht automatisch zu einer Vergrößerung des Instabilitätsausmaßes (81). Nicht Art und Größe der applizierten Kraft, sondern die Entspanntheit des Patienten garantiert die Darstellung einer Instabilität in ihrem

vollen Ausmaß.

Bei der manuell durchgeführten Ultraschalluntersuchung wird ein Gegenspannen des Patienten sofort erkannt und durch Kraftreduktion beseitigt. Es kommt nicht zum Circulus vitiosus: schmerzbedingte Anspannung - erhöhter Kraftaufwand - Zunahme der reflektorischen Muskelanspannung.

Durch direkten Kontakt zwischen Patienten und Untersucher kann dieser dem Patienten die Angst vor der scheinbar schmerzhaften Untersuchung nehmen.

Die Untersuchung erfolgt unter fortlaufender Monitorkontrolle. Dadurch erhält man einen unmittelbaren Eindruck vom Ausmaß der vorliegenden Instabilität. Ihr dynamischer Charakter wird sichtbar. Durch permanente Monitorkontrolle wird ein Abweichen aus den Standardebenen, das Verkippen oder Verwackeln von Aufnahmen verhindert.

Aussagekraft der Ultraschalluntersuchung

Die Ergebnisse der sonographischen Untersuchung konnten in allen Fällen operativ bestätigt werden. Bei der sonographischen Beurteilung des Lachman-Testes zeigt sich eine gute Korrelation mit den operativen Befunden, die auch der klinischen Einteilung in Instabilitätsgrade entspricht (92).

Während bei intaktem Kapselbandapparat die Tibia nur gering nach ventral verschiebbar ist, findet sich bei Patienten mit insuffizientem vorderen Kreuzband eine deutlich vermehrte Subluxierbarkeit. Ein Stabilitätsverlust des vorderen Kreuzbandes kann somit sicher beurteilt werden.

Beim sonographischen Lachman-Test kann die Ruptur des hinteren Kreuzbandes durch spontanes Zurücksinken des

Tibiakopfes das Vorliegen einer vorderen Instabilität vortäuschen (89). Im Ultraschallbild in Neutralstellung berührt die Tangente durch die Tibiakontur normalerweise die Spitze des bogenförmig erscheinenden medialen Femurkondylus. Bei der Spontanschublade nach hinten liegt die Tangente deutlich unterhalb der Femurkontur. Dies erleichtert die Unterscheidung von hinterer und vorderer Instabilität.

Durch Prüfung der medialen Aufklappbarkeit können eindeutige Aussagen über die Stabilität des Innenbandes gemacht werden. Bei frischen Innenbandverletzungen kann aufgrund der Ausprägung zwischen Teilruptur und kompletter Ruptur unterschieden werden. Bei veralteten Innenbandläsionen wurde wegen der Schwierigkeit das Ausmaß der Elongation exakt zu definieren auf eine Unterteilung verzichtet.

Ein direkter Vergleich der sonographischen Meßergebnisse mit den Ergebnissen gehaltener Röntgenaufnahmen erscheint wenig sinnvoll. Gehaltene Röntgenaufnahmen werden meist in 90° Kniebeugung angefertigt. Die knöchernen Meßpunkte entsprechen nicht den sonographischen Standardebene.

Bloier, der die mediale Aufklappbarkeit sonographisch, mit einem Halteapparat, prüft, verwendet andere Schnittebenen, untersucht keine bandstabile Kontrollgruppe und macht keine Angaben darüber, ob außer dem Innenband noch weitere Strukturen verletzt sind (8).

Die Ergebnisse des sonographischen Lachman-Testes und der Innenbandprüfung wurden auf Sensivität und Spezifität untersucht (101). Für Spezifität und Sensivität ergeben sich Werte von je 100 %.

5.2. Diagnose und Dokumentation fibularer Bandrupturen

5.2.1. Gehaltene Röntgenaufnahmen des oberen Sprunggelenkes: Indikation, Technik und Probleme der Untersuchungsmethode

Indikation

Anamnese und klinische Untersuchung reichen zur Diagnose einer Außenbandruptur am oberen Sprunggelenk oft nicht aus. Neben Übersichtsaufnahmen zum Frakturausschluß werden in der Regel zur Dokumentation der Instabilität gehaltene Röntgenaufnahmen angefertigt.

Technik gehaltener Aufnahmen

Bereits 1933 berichtete Faber über die radiologische Prüfung der seitlichen Aufklappbarkeit im a. p. - Strahlengang (25). Er schätzt vor, die Aufklappbarkeit in Rechtwinkelstellung des Fußes zu prüfen. Nachfolgende Autoren untersuchen die Aufklappbarkeit in Plantarflexion. Anderson (4) und Leonard (77) konnten anhand von Leichenversuchen zeigen, daß Verletzungen des Lig. fibulotalare anterius in Plantarflexion des Fußes nachweisbar sind, während in Rechtwinkelstellung eine deutliche Aufklappbarkeit nur nach Ruptur des Lig. fibulocalcaneare nachzuweisen ist.

Gehaltene Aufnahmen im seitlichen Strahlengang sind bereits Güttner, 1942, bekannt (42). Er lehnt sie jedoch als Routinemethode ab. Anderson empfiehlt die Prüfung des Talusvorschubes in Plantarflexion, da er hier deutlicher ausgeprägt ist als in Neutralposition (4). Demgegenüber untersucht Landeros das Schubladenzeichen in Rechtwinkelstellung. Als Grund gibt er an, daß sich bei

Plantarflexion die intakten Fasern des medialen und lateralen Bandapparates anspannen und eine Subluxation des Talus verhindern können (74).

Während die Durchführung der gehaltenen Aufnahmen früher manuell erfolgte, kommt heute eine Vielzahl von Halteapparaten zur Anwendung (18, 37, 93, 104, 113, 116). Die apparative Untersuchung wird vorgezogen wegen der fehlenden Strahlenbelastung und der besser reproduzierbaren und vergleichbaren Ergebnisse (37, 75, 126).

Von einigen Autoren wird die Untersuchung in Lokalanästhesie empfohlen (1, 37, 141).

Die Angaben über die angewendete Kraft reichen von 5 Kp bis 16 Kp (130).

Probleme bei der Durchführung

Bei frischen Verletzungen ist die Untersuchung oft sehr schmerzhaft. Die Folgen sind falsch negative Ergebnisse durch reflektorische Muskelanspannung. Zusätzlich kann es zu Fehleinstellungen durch schmerzbedingte Drehung aus der richtigen Einstellungsposition kommen. Erfolgt die Aufnahme in einem Haltegerät, fehlt eine gesteuerte Anpassung der Kraft an die Gegenspannung. Fehleinstellung der Geräte führt zu ungenauer Abbildung der darzustellenden Strukturen (130). Handgehaltene Aufnahmen können verkippt oder verwackelt sein. Wiederholung der Aufnahme bedeutet zusätzliche Strahlenbelastung für Patienten und Untersucher.

5.2.2. Sonographische Funktionsuntersuchung des fibularen Bandapparates

Die direkte sonographische Darstellung der Außenbandstrukturen am oberen Sprunggelenk ist nicht möglich. Im Gegensatz zu anderen Autoren (46) sind wir - aufgrund der Untersuchungen an Leichensprunggelenken - der Meinung, daß eine ausreichend sichere Identifizierung der Bandstrukturen im dünnen Weichteilmantel der Außenknöchelregion nicht möglich ist. Zudem erlaubt das Reflexverhalten der Bänder keine sichere Aussage über ihre Stabilität. Aus der Nichtdarstellbarkeit der Bänder kann nicht auf deren Ruptur oder Verlust geschlossen werden, besonders weil der Bandverlauf individuell stark variabel ist (61).

Die sonographische Stabilitätsprüfung in standardisierten Schnittebenen erscheint demgegenüber sinnvoll und praktikabel.

Untersuchungstechnik

Bei der Ultraschalluntersuchung ist der Fuß leicht plantar gebeugt und innenrotiert. Rupturen der Ligg. fibulotalare anterius und fibulocalcaneare bewirken in dieser Position eine stärkere Ausprägung von Talusvorschub und lateraler Aufklappbarkeit als in Rechtwinkelstellung (4, 37, 45, 134, 141). In 90°-Position kann außerdem die ventrale Tibiakante die Subluxation des Talus verhindern (93).

Zur Prüfung der Talusschublade wird die Ferse des zu untersuchenden Fußes auf ein Bänkchen gelagert. Der Untersucher übt auf die Tibia Druck in dorsale Richtung aus. Dabei ist zu beachten, daß der Talus durch das Eigengewicht der Tibia bereits in Neutralstellung nach ventral

subluxieren kann (33). Um falsch negative Ergebnisse zu vermeiden, sollte daher die Tibia in der Neutralposition von dorsal unterstützt werden.

Zur Untersuchung der seitlichen Aufklappbarkeit faßt man den Vorfuß des Patienten und supiniert ihn. Einige Autoren prüfen die Aufklappbarkeit durch Adduktion des Rückfußes, um eine Mitbewegung im unteren Sprunggelenk auszuschließen (1, 76, 109). Der Vorfuß läßt sich jedoch leichter fassen als der Calcaneus. Nach Erschöpfung der Bewegung im unteren Sprunggelenk kann der Talus - durch die Hebelwirkung des Vorfußes - leicht in eine Kippstellung gebracht werden (25, 42, 140).

Ein Gegenspannen des Patienten bei der Untersuchung kann sofort erkannt und durch Kraftreduktion ausgeschlossen werden. Die Darstellbarkeit des maximalen Instabilitätsausmaßes hängt nicht von Höhe und Zeitdauer der angewendeten Kraft, sondern von der Entspanntheit des Patienten ab. Auf diese Weise ist die Untersuchung für den Patienten nicht oder nur gering schmerzhaft. Auch eine standardisiert angewendete Kraft garantiert nicht automatisch die Darstellbarkeit der Instabilität.

Auf einen weiteren Vorteil der manuellen Untersuchungstechnik weist Zink hin. Bei der Schubladenbewegung der Tibia gegen den Talus handelt es sich um eine antero-laterale Rotationsinstabilität. Der Rotationsmechanismus wird durch die manuelle Untersuchungstechnik eher nachvollzogen als durch einen Halteapparat. Das Ausmaß der Instabilität tritt deutlicher hervor (139).

Die verwendeten Schnittebenen entsprechen in ihrem Verlauf der jeweiligen Bandstruktur. Die bei der Ruptur eines Bandes entstehende Instabilität kann als Abstandsänderung der Knochenkonturen direkt beobachtet werden. Fehleinstellungen und Bewegungsartefakte werden durch fortlaufende Kontrolle des Monitorbildes vermieden.

Aussagekraft der Ultraschalluntersuchung

Die Ergebnisse der leichenexperimentellen Untersuchung stimmen prinzipiell mit den Befunden anderer Untersucher überein, die nach schrittweiser Durchtrennung der Bandstrukturen gehaltene Röntgenaufnahmen anfertigten. Ein Vergleich einzelner Meßergebnisse ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen knöchernen Bezugspunkte nicht möglich.

Die isolierte Durchtrennung des Lig. fibulotalare anterius bewirkt eine deutliche Zunahme des Talusvorschubes, die seitliche Aufklappbarkeit nimmt in geringerem Ausmaß zu. Nach zusätzlicher Durchtrennung des Lig. fibulocalcaneare ist die weitere Zunahme der seitlichen Aufklappbarkeit ausgeprägter als die Zunahme des Talusvorschubes. Die isolierte Durchtrennung des Lig. fibulocalcaneare führt zu vermehrter seitlicher Aufklappbarkeit bei negativer vorderer Schublade (4, 20, 73, 79, 105, 134, 139, 141).

Zwischen der Ruptur des Lig. fibulotalare anterius und der des Lig. fibulocalcaneare kann somit sicher unterschieden werden. Eine Aussage darüber, ob das Lig. fibulotalare anterius allein oder in Kombination mit dem Lig. fibulocalcaneare betroffen ist, ist dagegen weder mit gehaltenen Röntgenaufnahmen, noch mit der Ultraschalluntersuchung sicher möglich.

Die klinische Untersuchung bestätigt die leichenexperimentellen Befunde. Der sonographische Befund konnte bei allen Patienten operativ bestätigt werden.

Intakte Bandverhältnisse lassen keine nennenswerte Subluxation des Talus zu. Nach Ruptur des Lig. fibulotalare anterius ist die Schublade dagegen immer deutlich nachzuweisen. Bei zusätzlicher Verletzung des Lig. fibulocalcaneare nimmt die seitliche Aufklappbarkeit weiter zu.

Bei intakten Bandverhältnissen weisen die Werte der seitlichen Aufklappbarkeit eine größere Schwankungsbreite auf als die des Talusvorschubes. Eine Unterscheidung zwischen normaler und pathologischer Aufklappbarkeit ist aber immer möglich.

Einige der operierten Patienten zeigten auch am anderen Sprunggelenk Zeichen von Instabilität. Die Anamnese ergab hier alte, zum Teil konservativ oder nicht behandelte Traumen. Die ermittelten Werte waren höher als in der Kontrollgruppe, erreichten aber nicht das Ausmaß einer frischen Bandruptur. Auch Lindstrand berichtet über neun Patienten, bei denen er intraoperativ keine Ruptur feststellen konnte, jedoch ein makroskopisch abnormes Aussehen der Bandstrukturen. Der radiologische Befund lag in diesen Fällen zwischen eindeutig negativ und sicher positiv (78). Da in einigen unserer Fälle die dazugehörigen gehaltenen Röntgenaufnahmen negativ waren, scheint die sonographische Untersuchung besser geeignet auch diskrete Instabilitäten nachzuweisen.

Die Angaben über falsch negative gehaltene Röntgenaufnahmen schwanken zwischen 10 % und 50 % (18, 32, 130). Eggert untersucht die Sensivität gehaltener Röntgenaufnahmen. Für den Talusvorschub findet er einen Wert von

27 %, der sich erst durch Narkoseanwendung auf 82 % steigern läßt. Die Sensivität der Taluskippung beträgt ohne Narkose 68 %, mit Narkose 91 % (24).

Die Ergebnisse der sonographischen Untersuchung wurden bezüglich ihrer Sensivität und Spezifität geprüft (101). Für beide ergab sich jeweils ein Wert von 100 %. Dies zeigt die Aussagekraft der sonographischen Untersuchung.

5.3. Allgemeine Vorteile und Voraussetzungen der sonographischen Funktionsdiagnostik

5.3.1. Vorteile der Ultraschalluntersuchung gegenüber gehaltenen Röntgenaufnahmen

Kapselbandverletzungen von Knie- und oberem Sprunggelenk können mit sonographischen Funktionsuntersuchungen sicher diagnostiziert und dokumentiert werden. Die Vorteile liegen in der geringen Schmerzhaftigkeit und der fehlenden Strahlenbelastung bei gegebener Meßbarkeit der Instabilität. Die Untersuchung ist nicht invasiv und für den Patienten nicht belastend. Zusätzlich können Informationen über das Gelenk umgebende Weichteilstrukturen, zum Beispiel Hämatome gewonnen werden.

Das Fehlen einer konstanten und meßbaren Krafteinleitung beeinträchtigt nicht die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit. Die Darstellung des maximalen Instabilitätsausmaßes ist nicht abhängig von der Höhe der angewendeten Kraft, sondern von der Entspanntheit des Patienten. Eine konstante Kraft, wie sie bei den apparativ gehaltenen Röntgenaufnahmen angewendet wird, garantiert keinen konstanten Weg im Sinne einer Darstellung des maximalen Instabilitätsausmaßes. Spannt der Patient gegen kann auch bei konstanter Kraft die abnorme Beweglichkeit nicht bis zu ihrem maximalen Ausmaß nachvollzogen werden. Bei völliger Entspanntheit des Patienten hingegen, ist die Darstellung der Instabilität in ihrem vollen Ausmaß möglich.

5.3.2. Voraussetzungen für die Ultraschalldiagnostik

Voraussetzung für diese Untersuchungstechnik ist ein exaktes Einhalten der definierten Schnittebenen, was bei Kenntnis der anatomischen Grundlagen und praktischer

Erfahrung mit der Sonographie gelingt. Eine Fehlinterpretation durch Artefakte läßt sich bei Kenntnis ihrer Entstehungsmöglichkeiten vermeiden. Grundkenntnisse der Biomechanik der Gelenke und der verschiedenen Formen und Grade von Instabilitäten müssen vorhanden sein, um den sonographischen Befund richtig beurteilen zu können.

Die apparative Ausstattung sollte bestimmten Anforderungen genügen. Der Schallkopf sollte eine Frequenz von mindestens 5 MHz haben. Damit ist eine akzeptable Auflösung und eine ausreichend differenzierte Darstellung der zu untersuchenden Strukturen gewährleistet.

Die Schallkopfbreite sollte mindestens 80 mm betragen. Nur dann ist eine sichere Darstellung der definierten Ebenen möglich.

Dem Linear-Scanner ist gegenüber dem Sektor-Scanner der Vorzug zu geben. Seine parallel einfallenden Schallstrahlen liefern ein zeichnungsfreies Bild. Außerdem können die Untersuchungsebenen bereits von außen eingestellt werden. Sektor-Scanner haben mit ihren eng begrenzten Sektoren keine parallel einfallenden Schallstrahlen. Die für die Instabilitätsmessung nötige, exakt reproduzierbare Wiedergabe der Knochenkonturen ist nicht möglich. Bedingt durch die Bauweise können die Schnittebenen nicht bereits von außen eingestellt werden.

Um eine ausreichende Ankoppelung des Schallkopfes an die Gelenke zu erreichen, ist in den meisten Fällen die Verwendung einer Vorlaufstrecke nötig. Lediglich bei stark geschwollenem oder adipösem Kniegelenk kann darauf verzichtet werden. Zwei Arten von Vorlaufstrecken sind zu unterscheiden:

Silikon-Elastomer-Blöcke, sog. G e l k i s s e n, besitzen den Vorteil einer praktisch artefaktfreien Abbildung, sind dafür aber - bei begrenzter Haltbarkeit - relativ teuer (3, 114). Außerdem sind sie recht unhandlich, da sie leicht von der untersuchten Körperregion abgleiten können. Dies führt bei der sonographischen Stabilitätsprüfung zu Problemen. Da der Untersucher mit einer Hand die Stabilitätsprüfung durchführt, muß er mit der anderen Hand sowohl Schallkopf, als auch Gelkissen festhalten.

Bei den sog. W a s s e r v o r l a u f s t r e c k e n handelt es sich um wassergefüllte Latexschläuche, die durch eine Halterung am Schallkopf befestigt werden (36). Für die sonographische Funktionsdiagnostik überwiegt der Vorteil der Handlichkeit den Nachteil der Artefaktentstehung in Form von Wiederholungsechos durch Gasblasenbildung in der Flüssigkeit.

Auch an die Dokumentation sind spezielle Anforderungen zu stellen. Der Abbildungsmaßstab sollte 1:1 betragen. Andernfalls müssen die Meßergebnisse mittels Korrekturfaktor entsprechend umgerechnet werden. Dies gewährleistet die Vergleichbarkeit von Befunden, die mit verschiedenen Geräten erhoben wurden.

Der Standardisierung der Befunderhebung dient auch die Abbildung entsprechend international üblichen Richtlinien (57). Danach ist der proximale Anteil einer Extremität immer auf der linken Seite des Sonogrammes darzustellen.

Ebenfalls international üblich ist die Abbildung heller Strukturen auf dunklem Hintergrund. Abweichend davon erscheint für Knie- und Sprunggelenk - in Analogie zur Säuglingshüfte - die Dokumentation auf hellem Hinter-

grund günstiger. Die Sonogramme werden dadurch kontrastreicher und lassen sich leichter mit Bleistift-Meßlinien versehen (41).

Der dynamische Charakter der Instabilität ist auf dem Monitorbild deutlich erkennbar. Dies darf jedoch nicht dazu führen, daß die dynamische Komponente der Untersuchung überbewertet und die Messung zur Quantifizierung der Instabilität vernachlässigt wird. Unsere Erfahrung hat gezeigt, daß eine Beschränkung auf das Monitorbild sowohl zu falsch negativer, als auch falsch positiver Beurteilung der Stabilitätsverhältnisse führen kann.

Zur Befunddokumentation erscheint die Multifilmkamera mit Röntgenfilm am besten geeignet. Von Vorteil ist hier die Aneinanderreihung der Schnittbilder auf einem Bogen: Neutral- und Sreßaufnahmen des verletzten Gelenkes und der gesunden Gegenseite können gleichzeitig betrachtet werden. Außerdem hat das Durchlichtbild gegenüber Fotoaufnahmen den Vorteil, daß mehr Graustufen mit höherem Kontrast wiedergegeben werden (138).

Eine Aufzeichnung auf Videoband ist im Routinebetrieb wenig sinnvoll und sollte speziellen Fragestellungen vorbehalten bleiben. Eine praktikable Archivierung der Videobefunde ist nur bei Verwendung aufwendiger Computerprogramme möglich. Auch bei der Videodokumentation muß das Instabilitätsausmaß auf dem Standbild ausgemessen werden. Das Auffinden einer optimalen Einstellung mittels Suchlauf ist jedoch zeitaufwendig. Selbst bei professionellen Geräten (Sony, System U-matic) ist die Qualität der Standbilder nicht immer befriedigend.

6. Zusammenfassung

Die Diagnose von Kapselbandverletzungen wird zunächst klinisch gestellt und anschließend bisher durch gehaltene Röntgenaufnahmen, Arthrographie oder Arthroskopie dokumentiert und gesichert. Mittels sonographischer Funktionsuntersuchungen in standardisierten Ebenen und festgelegter Technik gelingt es, auf einfache und schonende Weise Gelenksinstabilitäten nachzuweisen, zu dokumentieren und auszumessen.

Anhand der Diagnostik der anteromedialen Instabilität am Kniegelenk und der fibularen Bandruptur am Sprunggelenk werden die Prinzipien der Methode dargestellt. Ihre Aussagekraft wird für das Kniegelenk durch Knochenkonturstudien und für das obere Sprunggelenk durch experimentelle Banddurchtrennung untersucht. Die Zuverlässigkeit der Methode wird an Patienten der Orthopädischen Klinik der Universität München überprüft. Der Wert des Verfahrens im Vergleich zu anderen diagnostischen Methoden wird diskutiert. Es werden Kriterien für die Durchführung der Untersuchung aufgestellt und mögliche Fehlerquellen aufgezeigt.

7. Literaturverzeichnis

1. Adler, H.:
Ligament injuries of the foot.
Arch. orthop. traum. Surg. 99 (1982) 183
2. Aisen, A. M., W. J. McCune, A. MacGuire, P. L. Carson:
Sonographic evaluation of the cartilage of the knee.
Radiology 153 (1984) 781
3. Alzen, G., W. Soumer, G. Doblhoff-Dier:
Entwicklung einer gewebeäquivalenten Kunststoffvorlaufstrecke
für die sonographische Diagnostik hautnaher Bereiche.
Fortschr. Röntgenstr. 143 (1985) 90
4. Anderson, K. J., J. F. Lecocq, E. A. Lecocq:
Recurrent anterior subluxation of the ankle joint.
J. Bone Jt. Surg. 34 A (1952) 853
5. Barnett, C. H., J. R. Napier:
The axis of rotation at the ankle joint in man.
Anatomy 86 (1952) 1
6. Barnett, S. B., G. Kossoff:
Ultrasonic exposure in static and real time echography.
Ultrasound Med. & Biol. 8 (1982) 273
7. Bernardino, M. E., B.-S. Jing, J. L. Thomas, M. M. Lindell,
J. Zoranza:
The extremity soft-tissue lesion: a comparative study of
ultrasound, computed tomography and xeroradiography.
Radiology 139 (1981) 53
8. Bloier, B.:
Ultraschalldiagnostik am Seitenbandapparat des Kniegelenkes
bei Varus-Valgus-Streß.
In: Stuhler, Th., A. Feige (Hrsg.): Ultraschalldiagnostik des
Bewegungsapparats. Springer, Berlin 1987
9. Böhler, J.:
Röntgenologische Darstellung von Kreuzbandverletzungen.
Chirurg 16 (1943) 136
10. Broström, L.:
Sprained ankles. I. Anatomic lesions in recent sprains.
Acta chir. scand. 128 (1964) 483
11. Broström, L.:
Sprained ankles. III. Clinical observations in recent ligament
ruptures.
Acta chir. scand. 130 (1965) 560

12. Cedell, C.-A.:
Ankle lesions.
Acta orthop. scand. 46 (1975) 425
13. Cooperberg, P. L., I. Tsang, L. Truelove, J. Knickerbocker:
Gray scale ultrasound in the evaluation of rheumatoid arthritis of the knee.
Radiology 126 (1978) 759
14. Daniel, D. M., L. L. Malcom, G. Losse, M. L. Stone, R. Sachs, R. Burks:
Instrumented measurement of anterior laxity of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 67 A (1985) 720
15. Daniel, D. M., M. L. Stone, R. Sachs, L. L. Malcom:
Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption.
Amer. J. Sports Med. 13 (1985) 401
16. Debrunner, H. U.:
Orthopädisches Diagnostikum.
4. Aufl. Thieme, Stuttgart 1982
17. Debrunner, H. U.:
Biomechanik des Fußes.
Bücherei des Orthopäden, Bd. 49. Enke, Stuttgart 1985
18. Delplace, J., J. Castaing:
Apports de l'étude radiographique du trioir astragalien antérieur
Rev. Chir. Orthop. 61 (1975) 137
19. Dengel, H.:
Die Wertigkeit von speziellen Röntgenuntersuchungen bei Außenbandläsionen des oberen Sprunggelenkes.
Radiologe 22 (1982) 461
20. Dietschi, C., H. Zollinger:
Beitrag zur Diagnostik der lateralen Bandverletzungen des oberen Sprunggelenkes.
Z. Orthop. 111 (1973) 724
21. Dobrinski, W., H. Kremer:
Physikalische und technische Grundlagen des Impuls-Echo-Verfahrens.
In: Kremer, H., W. Dobrinski (Hrsg.): Sonographische Diagnostik. 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München 1978
22. Donaldson, W. F., R. F. Warren, T. Wickiewicz:
A comparison of acute anterior cruciate ligament examinations.
Amer. J. Sports Med. 13 (1985) 5

23. Dragonat, P., C. Claussen:
Sonographische Meniskusdarstellungen.
Fortschr. Röntgenstr. 133 (1980) 185
24. Eggert, A., H. Adolphsen, J. Grüber:
Einfluß der Schmerzausschaltung auf die apparative Röntgen-
diagnostik fibularer Kapselbandverletzungen.
Unfallchirurg 88 (1985) 442
25. Faber, A.:
Kippstellung des Talus.
Fortschr. Röntgenstr. 46 (1932) 457
26. Feldmeier, Ch., B. Rieck, P. Bernett:
Kapselbandverletzungen des oberen Sprunggelenkes beim Sport.
Sporttraumatologie 1 (1985) 45
27. Felsenreich, F.:
Klinik der Kreuzbandverletzungen.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 179 (1934) 375
28. Fornage, B. D.:
Achilles tendon: US examination.
Radiology 159 (1986) 759
29. Fornage, B. D., M. D. Rifkin, D. H. Touche, P. M. Segal:
Sonography of the patellar tendon.
AJR 143 (1984) 179
30. Fornage, B. D., D. H. Touche, P. M. Segal, M. D. Rifkin:
Ultrasonography in the evaluation of muscular trauma.
J. Ultrasound Med. 2 (1983) 549
31. Francillon, M. R.:
Distorsio pedis with an isolated lesion of the ligamentum
calcaneo-fibulare.
Acta orthop. scand. 32 (1962) 469
32. Franke, D., U. Weiher, N. P. Sossinka, K. Fern:
Die Wertigkeit der Arthrographie im Vergleich zur gehaltenen
Aufnahme in der Diagnostik von Kapselbandläsionen am oberen
Sprunggelenk.
Röntgenpraxis 39 (1986) 41
33. Frick, H.:
zur Frage der Subluxierbarkeit des Talus nach vorne.
Akt. Traumatol. 8 (1978) 175
34. Frick, H.:
Einfache Methode zur Anfertigung gehaltener Röntgenaufnahmen.
Chir. Praxis 25 (1979) 117

35. Frick, H., H. Leonhardt, D. Starck:
Allgemeine Anatomie. Spezielle Anatomie, Bd. 1.
2. Aufl. Thieme, Stuttgart 1981
36. Friedrich, M.:
Einfache Vorlaufstrecke für die Nahbereichssonographie.
Fortschr. Röntgenstr. 146, 2 (1987) 223
37. Fröhlich, H., L. Gotzen, U. Adam:
Experimentelle Untersuchungen zur Wertigkeit der in zwei
Ebenen gehaltenen Aufnahme des oberen Sprunggelenkes.
Unfallheilkunde 87 (1984) 256
38. Galway, R. D., A. Beaupré, D. L. MacIntosh:
Pivot shift: a clinical sign of symptomatic anterior
cruciate insufficiency.
J. Bone Jt. Surg. 54 B (1972) 763
39. Götz, A.-J.:
Kompendium der medizinisch-diagnostischen Ultrasonographie.
Enke, Stuttgart 1983
40. Graf, R.:
Sonographie der Säuglingshüfte.
Bücherei des Orthopäden, Bd. 43. Enke, Stuttgart 1985
41. Graf, R.:
Kann die Hüftsonographie die an sie gestellten Anforderungen
erfüllen?
Ultraschall Klin. Prax. 1 (1986) 62
42. Güttner, L.:
Erkennung und Behandlung des Bänderrisses am äußeren Knöchel
mit Teilverrenkung des Sprungbeines im Sinne einer Subluxation.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 41 (1942) 287
43. Hackenbroch, M. H., J. Rütt:
Vergleichende Wertung der klinischen Untersuchung, der arthro-
graphischen und gehaltenen Röntgenaufnahmen bei der frischen
Kapselbandzerreiung des oberen Sprunggelenkes.
In: Jäger, M. (Hrsg.): Weichteilschäden und Verletzungen.
Praktische Orthopädie, Bd. 15. Störck, Bruchsal 1985
44. Hackenbruch, W., B. Noesberger:
Die Kapselbandläsion am Sprunggelenk.
Therap. Umsch. 33 (1976) 433
45. Hackenbruch, W., B. Noesberger, H. U. Debrunner:
Differential diagnosis of ruptures of the lateral ligaments
of the ankle joint.
Arch. orthop. traum. Surg. 93 (1979) 293

46. Haller, W., G. Rodammer, K. Flock:
Sonographische Diagnostik der periartikulären Strukturen
des oberen Sprunggelenkes.
Sommertagung der Österreichischen Gesellschaft für Ortho-
pädie und orthopädische Chirurgie, Baden b. Wien 20. 6. 1987
47. Hart, J. A. L.:
Meniscal injury associated with acute and chronic ligamentous
instability of the knee joint.
J. Bone Jt. Surg. 64 B (1982) 119
48. Henkemeyer, H.:
Verletzungen der Syndesmose.
H. Unfallheilk. 131 (1978) 89
49. Hertel, P.:
Verletzung und Spannung von Kniebändern.
H. Unfallheilk. 142 (1980) 1
50. Heyder, H., A. von Lucadou, H. Lutz:
Klinische Nachuntersuchungen an Personen mit extensiver
Ultraschallstrahlenexposition.
Ultraschall 5 (1984) 29
51. Hien, N. M., H. Kremer:
Extremitäten und Gefäße.
In: Kremer, H., W. Dobrinski (Hrsg.): Sonographische Dia-
gnostik. Urban & Schwarzenberg, München 1987
52. Hien, N. M., P. Sedlmeier, T. Schricker:
Sonographische Diagnostik bei Kapselbandverletzungen des
Knie- und Sprunggelenkes.
In: Otto, R., P. Schnaars (Hrsg.): Ultraschalldiagnostik 85.
Thieme, Stuttgart 1986
53. Hooper, G. J.:
Radiological assessment of anterior cruciate ligament
deficiency.
J. Bone Jt. Surg. 68 B (1986) 292
54. Hughston, J. C., J. R. Andrews, M. J. Cross, A. Moschi:
Classification of knee ligament instabilities. Part I.
The medial compartment and cruciate ligaments.
J. Bone Jt. Surg. 58 A (1976) 159
55. Hughston, J. C., G. R. Barrett:
Acute anteromedial rotatory instability.
J. Bone Jt. Surg. 65 A (1983) 145

56. Hupfauer, W.:
Beitrag zur Diagnostik der frischen fibularen Bandruptur.
Mschr. Unfallheilk. 73 (1970) 178
57. Ide, M.:
On labeling of ultrasonic tomograms.
J. Ultrasound Med. 10 (1984) 687
58. Inman, V. T.:
The joints of the ankle.
Williams & Wilkins, Baltimore 1976
59. Jacobsen, K.:
Radiologic technique for measuring instability in the knee joint.
Acta radiol. diagn. 18 (1977) 113
60. Jacobsen, K.:
Gonylaxometry.
Acta ortop. scand. 52 (1981) Suppl. 194
61. Jäger, M., J. M. Schmidt:
Diagnostik und Therapie frischer und veralteter Läsionen des fibularen Bandapparates am Sprunggelenk unter besonderer Berücksichtigung der Indikation für ruhigstellende bzw. funktionelle Verbände.
In: Jäger, M. (Hrsg.): Weichteilschäden und Verletzungen. Praktische Orthopädie, Bd. 15. Störck, Bruchsal 1985
62. Jäger, M., C. J. Wirth:
Kapselbandläsionen.
Thieme, Stuttgart 1978
63. Jungmichel, D.:
Zur Diagnostik und Therapie fibularer Bandverletzungen im oberen Sprunggelenk.
Beitr. Orthop. Traumatol. 25 (1978) 39
64. Kapandji, I. A.:
Funktionelle Anatomie der Gelenke. Bd. 2. Untere Extremität. Bücherei des Orthopäden, Bd. 47. Enke, Stuttgart 1985
65. Kennedy, J. C.:
The injured adolescent knee.
2. Aufl. Williams & Wilkins, Baltimore
66. Kennedy, J. C., P. J. Fowler:
Medial and anterior instability of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 53 A (1971) 1257

67. Kennedy, J. C., H. W. Weinberg, A. S. Wilson:
The anatomy and funktion of the anterior cruciate ligament.
J. Bone Jt. Surg. 56 A (1974) 223
68. Kessler, M., N. M. Hien:
Ultraschalldiagnostik.
In: Jäger, M., C. J. Wirth (Hrsg.): Praxis der Orthopädie.
Thieme, Stuttgart 1986
69. Khaleghian, R., L. J. Tonkin, J. J. DeGeus, J. P. K. Lee:
Ultrasonic examination of the flexor tendons of the fingers.
J. clin. Ultrasound 12 (1984) 547
70. Kirchmayr, L.:
Das Röntgenbild als diagnostisches Hilfsmittel bei Zerreißung
der Kniegelenksbänder.
Fortschr. Röntgenstr. 27 (1920) 425
71. Kramps, H.-A., E. Lenschow:
Einsatzmöglichkeiten der Ultraschalldiagnostik am Bewegungs-
apparat.
Z. Orthop. 118 (1979) 355
72. Kratochwil, A., K. Zweymüller:
Ultrasonic examination in orthopedic surgery.
Proc. IInd Europ. Congr. Ultrasonics in Medicine 343 (1975),
Excerpta medica, Amsterdam-Oxford
73. Küster, H. H., W. Puhl, W. Springorum:
Die Aussagekraft der apparativ gehaltenen Aufnahme am oberen
Sprunggelenk zur Diagnostik frischer Bandverletzungen.
In: Rahmzadeh, R., M. Faensen (Hrsg.): Bandverletzungen am
Schulter-, Knie- und Sprunggelenk.
Schnetztor, Konstanz 1983
74. Landeros, O., H. M. Frost, C. C. Higgins:
Posttraumatic anterior ankle instability.
Clin. Orthop. 56 (1968) 169
75. Langer, R., M. Langer, W. Th. Glöckler, K. A. Schumacher,
H. von Dewitz:
Radiologische Diagnostik der fibulo-talaren Bandläsion
anhand von handgehaltenen und apparategedrückten Aufnahmen.
Röntgen Bl. 33 (1980) 399
76. Lauge Hansen, N.:
Knöchelbrüche und Bandverletzungen des Fußgelenkes und des
Fußes.
Zentralbl. Chir. 87 (1963) 545

77. Leonard, M. H.:
Injuries of the lateral ligaments of the ankle.
J. Bone Jt. Surg. 31 A (1949) 373
78. Lindstrand, A., W. Mortensson:
Anterior instability in the ankle joint following acute
lateral sprain.
Acta radiol. diagn 18 (1977) 529
79. Ludoph, E., G. Hierholzer, K. Gretenkord:
Untersuchungen zur Anatomie und Röntgendiagnostik des
fibularen Bandapparates am Sprunggelenk.
Unfallchirurg 88 (1985) 245
80. Malcom, L. L., D. D. Daniel, M. L. Stone, R. Sachs:
The measurement of anterior knee laxity after ACL recon-
structive surgery.
Clin. Orthop. 196 (1985) 35
81. Markolf, K. L., A. Graff-Radford, H. C. Amstutz:
In vivo knee stability.
J. Bone Jt. Surg. 60 A (1978) 664
82. Marshall, J. L., S.-E. Olsson:
Instability of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 64 B (1982) 119
83. McDonald, D. G., G. R. Leopold:
Ultrasound B scanning in the differentiation of Baker's cyst
and thrombophlebitis.
Brit. J. Radiol. 45 (1972) 729
84. Middleton, W. D., W. R. Reinus, W. G. Totty, G. L. Melson,
W. A. Murphy:
US of the biceps tendon apparatus.
Radiology 157 (1985) 211
85. Moore, T. M., M. H. Meyers, J. P. Harvey:
Collateral ligament laxity of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 58 A (1976) 594
86. Morris, J. M.:
Biomechanics of the foot and ankle.
Clin. Orthop. 122 (1977) 10
87. Müller, M. E.:
Zur Anatomie der lateralen Gelenkbänder am oberen Sprunggelenk.
H. Unfallheilk. 133 (1978) 145
88. Müller, W.:
Die Rotationsinstabilität am Kniegelenk.
H. Unfallheilk. 125 (1975) 51

89. Müller, We.:
Allgemeine Diagnostik und Soforttherapie bei Bandverletzungen am Kniegelenk.
Unfallheilkunde 83 (1980) 389
90. Muhr, G., M. Wagner:
Klinische Diagnostik bei Kapsel-Bandverletzungen des Kniegelenkes.
H. Unfallheilk. 167 (1984) 88
91. Nicholas, J. A.:
The five-one reconstruction for anteromedial instability of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 55 A (1973) 899
92. Noesberger, B.:
Untersuchung des Kniegelenkes.
H. Unfallheilk. 125 (1975) 86
93. Noesberger, B.:
Ein Halteapparat zum differenzierten Nachweis der fibularen Bandläsion.
Helv. chir. Acta 43 (1976) 195
94. O'Donoghue, D. H.:
Surgical treatment of fresh injuries to the major ligaments of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 32 A (1950) 721
95. Paar, O., B. Rieck, P. Bernett:
Experimentelle Untersuchungen über belastungsabhängige Druck- und Kontaktflächenverläufe an den Fußgelenken.
Unfallheilkunde 86 (1983) 531
96. Paar, O., K.-A. Riel:
Die Therapie frischer und veralteter Kapselbandverletzungen am oberen Sprunggelenk.
Chirurg 54 (1983) 411
97. Plaue, R.:
Die Diagnostik der lateralen Kapselbandschäden des oberen Sprunggelenkes.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 63 (1968) 135
98. Poigenfurst, J.:
Technik und Bedeutung gehaltener Röntgenbilder.
Chir. Praxis 4 (1960) 467
99. Porter, R. W., M. Wicks, D. Ottewill:
Measurement of the spinal canal by diagnostic ultrasound.
J. Bone Jt. Surg. 60 B (1978) 481

100. Quellet, R., H. P. Levesque, C. A. Laurin:
The ligamentous stability of the knee.
Can. med. Assoc. J. 100 (1969) 45
101. Ramm, B., G. Hofman:
Biomathematik.
6. Aufl. Enke, Stuttgart 1982
102. Riede, U. N., J. Hehne:
Inkongruenzarthrose.
H. Unfallheilk. 133 (1978) 11
103. Riede, U. N., R. K. Schenk, H. Willenegger:
Gelenkmechanische Untersuchungen zum Problem der posttraumatischen Arthrosen im oberen Sprunggelenk.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 328 (1971) 258
104. Rippstein, J.:
Prospekt der Firma F. Scholz.
Needham Heights, USA 1983
105. Rockenstein, R.:
Die frischen lateralen Bandverletzungen am oberen Sprunggelenk.
H. Unfallheilk. 131 (1978) 105
106. Röhr, E.:
Experimentelle Untersuchungen zur sonographischen Darstellung der Kreuzbänder.
Fortschr. Röntgenstr. 143 (1985) 467
107. Rott, H.-D.:
Zur Frage der Schädigungsmöglichkeit durch diagnostischen Ultraschall.
Ultraschall 2 (1981) 56
108. Rovere, G. D., D. M. Adair:
Anterior cruciate-deficient knees: a review of literature.
Amer. J. Sports Med. 11 (1983) 412
109. Rubin, G., M. Witten:
The talar-tilt angle and the fibular collateral ligaments.
J. Bone Jt. Surg. 42 A (1960) 311
110. Rüter, A., C. Burri:
Bandverletzungen am Knie.
H. Unfallheilk. 125 (1975) 42

111. Ruth, Ch. J.:
The surgical treatment of injuries of the fibular collateral ligaments of the ankle.
J. Bone Jt. Surg. 43 A (1961) 229
112. Scharf, H.-P., J. Hunger, H.-J. Pesch:
Zur Relevanz von Vorschäden bei fibulotalaren Bandrupturen.
Akt. Traumatol. 15 (1985) 155
113. Scheuba
Die "Gehaltene Aufnahme".
Prospekt der Frima Telos. Griesheim 1978
114. Schwaighofer, B., F. Frühwald, G. Seidl, A. Neuhold,
R. Stiglbauer:
Sonographie oberflächlicher Regionen mit einem Silikon-
Elastomer-Block.
Ultraschall 6 (1985) 49
115. Seiler, H.:
Biomechanik des oberen Sprunggelenkes.
Orthopäde 15 (1986) 415
116. Seiler, H., D. Holzrichter:
Zur standardisierten Diagnostik der "Ligamentären Außen-
knöchelfrakturen".
Chir. Praxis 22 (1977) 667
117. Seltzer, S. E., H. J. Finberg, B. N. Weissman:
Arthrosonography - technique, sonographic anatomy and
pathology.
Invest. Radiol. 15 (1980) 19
118. Slocum, D. B., S. L. James, R. L. Larson, K. M. Singer:
Clinical test for anterolateral rotatory instability of
the knee.
Clin. Orthop. 118 (1976) 63
119. Slocum, D. B., R. L. Larson:
Rotatory instability of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 50 A (1968) 211
120. Smillie, I. S.:
Kniegelenksverletzungen.
Enke, Stuttgart 1985
121. Sohn, C., H. Gerngroß, W. Bähren, W. Swobodnik:
Sonographie des Meniskus und seiner Läsionen.
Ultraschall 8 (1987) 32

122. Stancovic, P., K. Zürcher, Th. Stuhler, A. Heise:
Zur röntgenologischen Diagnostik von Kapselbandschäden am Kniegelenk.
Chirurg 50 (1979) 658
123. Stedtfeld, H.-W., M. Strobel, H.-J. Pelster:
Ein neues Röntgengerät zur Diagnostik und Dokumentation von Kniebandinstabilitäten - vorgestellt am Beispiel der antero-medialen Roationsinstabilität.
In: Rahmazzadeh, R., M. Faensen (Hrsg.): Bandverletzungen an Schulter-, Knie- und Sprunggelenk. Schnetztor, Konstanz 1983
124. Steinbrück, K.:
Epidemiologie von Sportverletzungen.
Sportverl. Sportsch. 1 (1987) 2
125. Strobel, M., H.-W. Stedtfeld:
Die gehaltene Röntgenuntersuchung des Kniegelenkes - eine Bestandsaufnahme.
Unfallchirurg 89 (1986) 272
126. Tiedtke, R., H. Böhme, H. R. Ottlitz:
Die Aussagefähigkeit der gehaltenen Aufnahme am oberen Sprunggelenk mit verschiedenen Techniken in verschiedenen Ebenen.
In: Rahmazzadeh, R., M. Faensen (Hrsg.): Bandverletzungen an Schulter-, Knie- und Sprunggelenk. Schnetztor, Konstanz 1983
127. Torg, J. S., W. Conrad, V. Kalen:
Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete.
Amer. J. Sports Med. 4 (1976) 84
128. Torzilli, P. A., R. L. Greenberg, J. Insall:
An in vivo biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee.
J. Bone Jt. Surg. 63 A (1981) 960
129. Weber, B. G.:
Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes.
2. Aufl. Huber, Bern 1972
130. Weiß, C.:
Die gehaltene Aufnahme des oberen Sprunggelenkes - eine einfache Routineuntersuchung?
Röntgenpraxis 38 (1985) 385
131. Wells, P. N. T.:
Ultraschall in der medizinischen Diagnostik.
de Gruyter, Berlin 1980

132. Wentzlik, G.:
Mechanisierung der gehaltenen Aufnahme nach Böhler unter Berücksichtigung der Strahlenvorschriften.
Röntgenblätter 5 (1952) 162
133. Wirth, C. J., M. Artmann:
Diagnostische Probleme bei frischen und veralteten Kreuzbandverletzungen des Kniegelenkes.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 81 (1975) 333
134. Wirth, C. J., M. Artmann:
Chronische fibuläre Sprunggelenksinstabilität - Untersuchungen zur Röntgendiagnostik und Bandplastik.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 88 (1977) 313
135. Wirth, C. J., M. Jäger:
Röntgenologische Diagnostik der Kapselbandläsionen.
Röntgenpraxis 34 (1981) 399
136. Wirth, C. J., M. Jäger, M. Kolb:
Die komplexe vordere Knieinstabilität.
Thieme, Stuttgart 1984
137. Wirth, C. J., W. Küsswetter, M. Jäger:
Biomechanik und Pathomechanik des oberen Sprunggelenkes.
H. Unfallheilk. 131 (1978) 10
138. Zabel, H.-J., A. Lorenz, G. van Kaick:
Bildokumentation in der Ultraschall Diagnostik.
Radiologe 25 (1985) 474
139. Zink, W., C. J. Wirth:
Wie sicher ist die apparativ gehaltene Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenkes zur Diagnostik der fibularen Kapselbandruptur?
Orthop. Praxis 9 (1985) 711
140. Zobel, K.:
Außenbandrisse des Sprunggelenkes.
Mschr. Unfallheilk. 66 (1963) 41
141. Zwipp, H., H. Tscherne, H.-J. Oestern:
Die frischen Bandverletzungen am oberen Sprunggelenk.
Unfallheilkunde 86 (1983) 275

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. C. J. Wirth für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit die Untersuchungen an der Orthopädischen Klinik, Klinikum Großhadern, der Universität München durchführen zu können.

Herrn Prof. Dr. M. Eder möchte ich für die Unterstützung des Pathologischen Institutes der Universität München danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. N. M. Hien für die freundliche Unterstützung und die zahlreichen Anregungen während der Arbeit an dieser Dissertation.

Lebenslauf:

Name:	Thomas Gerhard Schricker
Geburtsdatum:	25. Januar 1960
Geburtsort:	München
Eltern:	Dr. Heinrich Schricker, Studiendirektor Hildegard Schricker, geb. Rupp, Bankkauffrau
Wohnort:	München 21, Berchemstraße 82
Familienstand:	ledig
Schulausbildung:	Grundschule: 1966 - 1970 Gymnasium: 1970 - 1979 Ludwigs-Gymnasium, München Leistungskurse: Latein, Physik Großes Latinum, Graecum
Studium:	1979 - 1981 Rechtswissenschaft Ludwig-Maximilians-Universität, München 1981 - 1987 Medizin Ludwig-Maximilians-Universität, München
Approbation:	20. November 1987

